

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

Тема работы
Электрооборудование и электропривод насоса бурового станка

УДК 621.31:622.242-83

Студент

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Чернышов Денис Александрович		

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	К.Т.Н.		

КОНСУЛЬТАНТЫ:

По разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Киселева Е.С.	К.Э.Н.		

По разделу «Социальная ответственность»

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

ДОПУСТИТЬ К ЗАЩИТЕ:

И. о. руководителя ОЭЭ ИШЭ	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	К.Т.Н.		

Планируемые результаты обучения по ООП

Код результата	Результат обучения
Р 1	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа <i>электрических устройств, объектов и систем</i> .
Р 2	Уметь формулировать задачи в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> , анализировать и решать их с использованием всех требуемых и доступных ресурсов.
Р 3	Уметь проектировать <i>электроэнергетические и электротехнические системы и их компоненты</i> .
Р 4	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния <i>электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники</i> , интерпретировать данные и делать выводы.
Р 5	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 6	Иметь практические знания принципов и технологий <i>электроэнергетической и электротехнической</i> отраслей, связанных с особенностью проблем, объектов и видов профессиональной деятельности профиля подготовки на предприятиях и в организациях – потенциальных работодателях.
Р 7	Использовать знания в области менеджмента для управления комплексной инженерной деятельностью в области <i>электроэнергетики и электротехники</i>
Р 8	Использовать навыки устной, письменной речи, в том числе на иностранном языке, компьютерные технологии для коммуникации, презентации, составления отчетов и обмена технической информацией в областях <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 9	Эффективно работать индивидуально и в качестве члена или лидера команды, в том числе междисциплинарной, в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .
Р 10	Проявлять личную ответственность и приверженность нормам профессиональной этики и нормам ведения комплексной инженерной деятельности.
Р 11	Осуществлять комплексную инженерную деятельность в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> с учетом правовых и культурных аспектов, вопросов охраны здоровья и безопасности жизнедеятельности.
Р 12	Быть заинтересованным в непрерывном обучении и совершенствовании своих знаний и качеств в области <i>электроэнергетики и электротехники</i> .

Инженерная школа энергетики

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

УТВЕРЖДАЮ:

И. о. зав. кафедрой- руководителя
ОЭЭ ИШЭ

_____ А.С. Ивашутенко
(Подпись) (Дата) (Ф.И.О.)

ЗАДАНИЕ

на выполнение выпускной квалификационной работы

В форме:

Бакалаврской работы
(бакалаврской работы, дипломного проекта/работы, магистерской диссертации)

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5Б1	Чернышову Денису Александровичу

Тема работы:

Электрооборудование и электропривод насоса бурового станка	
Утверждена приказом директора (дата, номер)	№58-27/с от 27.02.2020г.

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ:

Исходные данные к работе	Материалы преддипломной практики, техническое описание буровой установки БУ-2900/200 и техническая документация
Перечень подлежащих исследованию, проектированию и разработке вопросов	1 Введение, 2 Выбор и расчет параметров элементов силового канала электропривода насоса, 3 Оптимизация линеаризованной САУ электропривода насоса, 4 Исследование нелинейной САУ электропривода насоса, 5 Технико-экономическое обоснование проекта, 6 Безопасность и экологичность проекта, 7 Заключение
Перечень графического материала	<ul style="list-style-type: none"> - схема кинематическая; - схема электрическая принципиальная; -схема электрическая функциональная;

	<ul style="list-style-type: none"> - схема электрическая структурная; - демонстрационный лист; - технико-экономические показатели;
Консультанты по разделам выпускной квалификационной работы	
Раздел	Консультант
Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	Киселева Елена Станиславовна
Социальная ответственность	Немцова Ольга Александровна
Названия разделов, которые должны быть написаны на русском и иностранном языках:	
Заключение	

Дата выдачи задания на выполнение выпускной квалификационной работы по линейному графику	20.03.2020г.
---	--------------

Задание выдал руководитель:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	к.т.н.		20.03.2020г.

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Чернышов Денис Александрович		20.03.2020г.

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего образования
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет» (ТПУ)

Инженерная школа энергетики

Направление подготовки 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника (бакалавриат)

Отделение Электроэнергетики и электротехники

Профиль Электрооборудование и электрохозяйство предприятий, организаций и учреждений

Период выполнения весенний семестр 2019 /2020 учебного года

Форма представления работы:

Бакалаврская работа

(бакалаврская работа, дипломный проект/работа, магистерская диссертация)

КАЛЕНДАРНЫЙ РЕЙТИНГ-ПЛАН выполнения выпускной квалификационной работы

Срок сдачи студентом выполненной работы:	29.05.2020г.
--	--------------

Дата контроля	Название раздела (модуля) / вид работы (исследования)	Максимальный балл раздела (модуля)
22.05.2020	Основная часть	60
15.05.2020	Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	20
18.05.2020	Социальная ответственность	20

СОСТАВИЛ:

Руководитель ВКР

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Воронина Н.А.	к.т.н.		

СОГЛАСОВАНО:

И. о. зав. кафедрой- руководителя ОЭЭ ИШЭ

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент	Ивашутенко А.С.	к.т.н.		

РЕФЕРАТ

Выпускная квалификационная работа 116 с., 36 рис., 16 таблиц, 16 источников,

БУРОВАЯ УСТАНОВКА, НАСОС, СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВУХЗОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА, ОПТИМИЗАЦИЯ, СТАТИЧЕСКИЕ И ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА РЕГУЛИРОВАНИЯ.

Объектом исследования является электропривод насоса буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ, предназначенный для транспортировки разрушенной породы (шлама) на поверхность.

Цель работы - разработка и исследование двухзонного электропривода (ЭП) насоса буровой установки БУ 2900/200 ЭПК-БМ.

В работе выбраны элементы силовой цепи, определены оптимальные параметры настройки регуляторов системы, рассчитаны статические и динамические характеристики, определены качественные показатели.

В результате исследования установлено, что разработанная система соответствует технологическим и техническим требованиям.

В экономической части выпускной квалификационной работы выполнено технико-экономическое обоснование выбора системы, приведен расчет затрат на проектирование и проведение пусконаладочных работ электропривода насоса буровой установки, а также этапы их проведения.

В работе также рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, электробезопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности при монтаже, наладке и обслуживании электропривода на буровой установке.

Содержание

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ.....	11
1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ	12
1.2 Описание технологического процесса	16
1.3 Насосно циркуляционный комплекс буровой установки	19
2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА.....	22
2.1 Электропривод насоса как объект управления	22
2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя	27
2.3 Паспортные параметры электродвигателя	27
2.4 Расчетные параметры двигателя.....	28
2.5 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя	29
2.6 Механическая система привода насоса	30
2.7 Параметры ОМС привода насоса	31
2.8 Выбор тиристорного преобразователя.....	34
2.9 Выбор трехфазного токоограничивающего реактора	35
2.10 Расчет параметров якорной цепи привода	37
2.11 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя	39
2.12 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя.....	41
2.13 Определение области допустимой работы электропривода насоса	42
2.14 Структурная схема силового канала электропривода насоса	48
3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА	50
3.1 Функциональная схема электропривода бурового насоса.....	50
3.2 Структурная схема САУ скорости электропривода насоса	56
3.3 Оптимизация контура тока.....	58
3.4 Оптимизация контура ЭДС двигателя	60
3.5 Структурная схема САУ потока возбуждения двигателя	64
3.6 Оптимизация контура тока возбуждения двигателя	64
4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА	66
4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП насоса	66
4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели	68
4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели	69
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»	76
5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение	77
5.1 Расчет номинального фонда времени на проектирование	79
5.2 Расчет затрат по научно-техническому проектированию	80
5.3 Расчет затрат на монтажные и пусконаладочные работы	84
5.4 Выбор состава и численности бригады для проведения ПНР	86
5.5 Определение плана проведения пусконаладочных работ	86

5.6 Выбор формы и системы оплаты труда.....	87
5.7 Определение стоимости пусконаладочных работ	90
5.8 Расчет заработной платы бригады.....	92
5.9 Правовые документы, действующие при проведении ПНР	93
5.10 Ценообразование	95
ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ».....	98
6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ.....	100
6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности	100
6.2 Производственная безопасность.....	103
6.3 Экологическая безопасность.....	108
6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях.....	110
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	113
THE CONCLUSION	114
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	115

ТЕХНИЧЕСКОЕ ЗАДАНИЕ

Разработать регулируемый электропривод механизма насоса, удовлетворяющий следующим техническим характеристикам.

1. Электропривод нереверсивный с двухзонным регулированием скорости.
2. Максимальная скорость вращения насоса $n_{\text{нмакс}} = 150$ об/мин.
3. Передаточное отношение редуктора насоса $n_{\text{ред}} = 3,152$.
4. КПД насоса, учитывающий гидравлические и механические потери $\eta_{\text{нас}} = 0,849$.
5. Общее передаточное отношение механизма насоса $i_{\text{нас}} = 6,433$.
6. Диапазон регулирования скорости не менее 10.
7. Регулирование скорости безступенчатое.
8. Электропривод должен обеспечивать ограничение максимального момента насоса в соответствии с заданной зависимостью $M_{\text{нмакс}}(\omega_p)$.
9. Погрешность поддержания скорости привода при изменении нагрузки не более 10% на номинальной скорости привода.
10. Время пуска привода до максимальной скорости должно быть регулируемое и составлять не менее 4 с.
11. Режим работы привода длительный, нагрузка переменная, характер нагрузки реактивный.
12. Электропривод должен быть обеспечен соответствующими защитами и блокировками.
13. Сеть трёхфазная, $380 \pm 10\%$ В, 50Гц.

ВВЕДЕНИЕ

Бурением называется воздействие спецтехники на почвенные слои, в результате чего в земле образуется скважина, через которую возможна добыча ценных ресурсов.

Создание современных буровых машин - сложный процесс, обусловленный специфическими условиями работы этих машин, к которым относят:

- способы бурения (вращательный, ударный, комбинированный и др.),
- необходимость прохода через твердые горные породы разнообразных по своим физико-механическим свойствам с высокой степенью абразивности отдельных видов разрушаемых пород;
- процесс бурения нефтяных скважин осуществляется по разным направлениям работы, которые зависят от расположения почвенного или горного пласта: оно может быть горизонтальным, вертикальным либо наклонным;
- работу в запыленной, влажной и загазованной среде.

Поэтому при проектировании современных буровых машин решается огромный комплекс задач по решению, не только технико-экономических показателей, но и эксплуатационных, специальных технологических, а также социальных. [1].

Одним из основных условий выполнения экономических требований является обеспечение минимальных расходов, связанных с процессом проектирования новой буровой техники и изготовлением ее в заводских условиях. Следовательно, показатели производительности машины, производительность труда обслуживающего персонала этой машины, а также себестоимость получаемой продукции являются важнейшими экономическими показателями.

Основными видами привода буровых установок до недавнего времени считались: электрический (машины переменного тока), дизель-электрический и дизельный. На смену им создаются электропривода на постоянном токе с использованием тиристорных преобразователей, что позволяет унифицировать все основные узлы бурового оборудования, независимо от автономности

привода.

Но несмотря на значительные достижения в области создания высокоэффективного оборудования, в настоящее время существуют значительные недостатки, ухудшающие технико-экономические показатели бурения и особенно глубокого:

- значительный вес и стоимость бурового оборудования;
- не выпускаются серийно необходимые буровикам установки, что приводит к нецелесообразному использованию установок других классов (более тяжелых) и повышает стоимость бурения;
- большинство буровых установок выпускается в неполной комплектности (без вышек, оснований и других комплектующих устройств), что в значительной мере снижает эффективность использования оборудования;
- транспортировка и монтаж бурового оборудования – это сложные и дорогостоящие составляющие этого вида добычи полезных ископаемых;

Задачей данной работы является разработка и исследование двухзонного электропривода (ЭП) бурового насоса БУ 2900/200 ЭПК-БМ.

В качестве основного метода исследования принято имитационное моделирование на ЭВМ с последующим анализом полученных результатов.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА НАСОСА КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

1.1 Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ

Процесс бурения состоит из последовательности следующих основных операций:

- 1.Подвоз техники на участок, где будет производиться работа.
- 2.Собственно бурение шахты. Процесс включает в себя несколько работ, одна из которых – углубление ствола, которое происходит при помощи регулярного промывания и дальнейшего разрушения горной породы.
- 3.Чтобы ствол скважины не был разрушен и не засорил ее, пласты породы укрепляют. С этой целью в пространство прокладывают специальную колонну из соединенных между собой труб. Место между трубой и породой закрепляют цементным раствором: эта работа носит название «тампонирования».
- 4.Последней работой является освоение. На нем вскрывается последний пласт породы, формируется призабойная зона, а также проводится перфорация шахты и отток жидкости.

После установки начинаются процессы по переоснащению талевой системы: в ходе этих работ монтируется оборудование, а также апробируются малые механические средства. Установка мачты открывает процесс забуривания в почву; направление не должно разойтись с осевым центром вышки.

После того, как завершается центровка, проводится создание скважины под направление: под этим процессом понимается установка трубы для усиления ствола и заливка начальной части цементом. После установки направления центровка между самой вышкой и роторными осями регулируется повторно.

Бурение под шурф осуществляется в центре ствола, и в процессе работы делается обсадка при помощи труб. При бурении шурфа используется турбо-

бур, для регулировки скорости вращения необходимо удерживать его посредством каната, который фиксируется на самой вышке, а другой частью удерживается физически.

Буровая установка – комплекс бурового оборудования и сооружений, предназначенных для бурения скважин, смонтированный на точке бурения и обеспечивающий с помощью бурового инструмента самостоятельное выполнение технологических операций по строительству скважин (см. рисунок 1).

Состав узлов буровой установки, их конструкция определяется назначением скважины, условиями и способом бурения. Современные буровые установки включают следующие составные части:

- буровое оборудование (талевый механизм, насосы, буровая лебедка, вертлюг, ротор, силовой привод и т.д.);
- буровые сооружения (вышка, основания, сборно-расборные каркасно-панельные укрытия, приемные мостки и стеллажи);
- оборудование для механизации трудоемких работ (регулятор подачи долота, механизмы для автоматизации спускоподъемных операций, пневматический клиновой захват для труб, автоматический буровой ключ, вспомогательная лебедка, пневмораскрепитель, краны для ремонтных работ, пульт контроля процессов бурения, посты управления);



Рисунок 1 – Буровая установка

- оборудование для приготовления, очистки и регенерации бурового раствора (блок приготовления, вибросита, песко- и илоотделители, подпорные насосы, емкости для химических реагентов, воды и бурового раствора);

- манифольд (нагнетательная линия в блочном исполнении, дроссельно-запорные устройства, буровой рукав);

- устройства для обогрева блоков буровой установки (тепло - генераторы, отопительные радиаторы и коммуникации для развода теплоносителя).

Буровые установки характеризуются двумя параметрами:

1. номинальной грузоподъемностью, которая определяется длительностью эксплуатации оборудования,

2. максимальной грузоподъемностью, определяемой кратковременными перегрузками оборудования.

С ростом глубины скважины разница между номинальной и максимальной грузоподъемностью увеличивается, так как при бурении глубоких скважин возможности кратковременной перегрузки оборудования должны быть значительно больше, чем при бурении мелких скважин. По номинальной грузоподъемности буровые установки для разведочного и эксплуатационного бурения делятся на 5 классов (таблица 1):

Таблица 1 – Классы грузоподъемности буровых установок

№ класса	1	2	3	4	5
Максимальная грузоподъемность, т	110	140	200	320	450

Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ предназначена для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной 2900 метров с грузоподъемностью на крюке до 200 тонн.

1.2 Описание технологического процесса

Бурение скважины является сложным производственным процессом, состоящим из отдельных операций, основными из которых являются спуско-подъемные и углубление скважины. На рисунке 2 представлен комплекс для вращения буровой колонны.

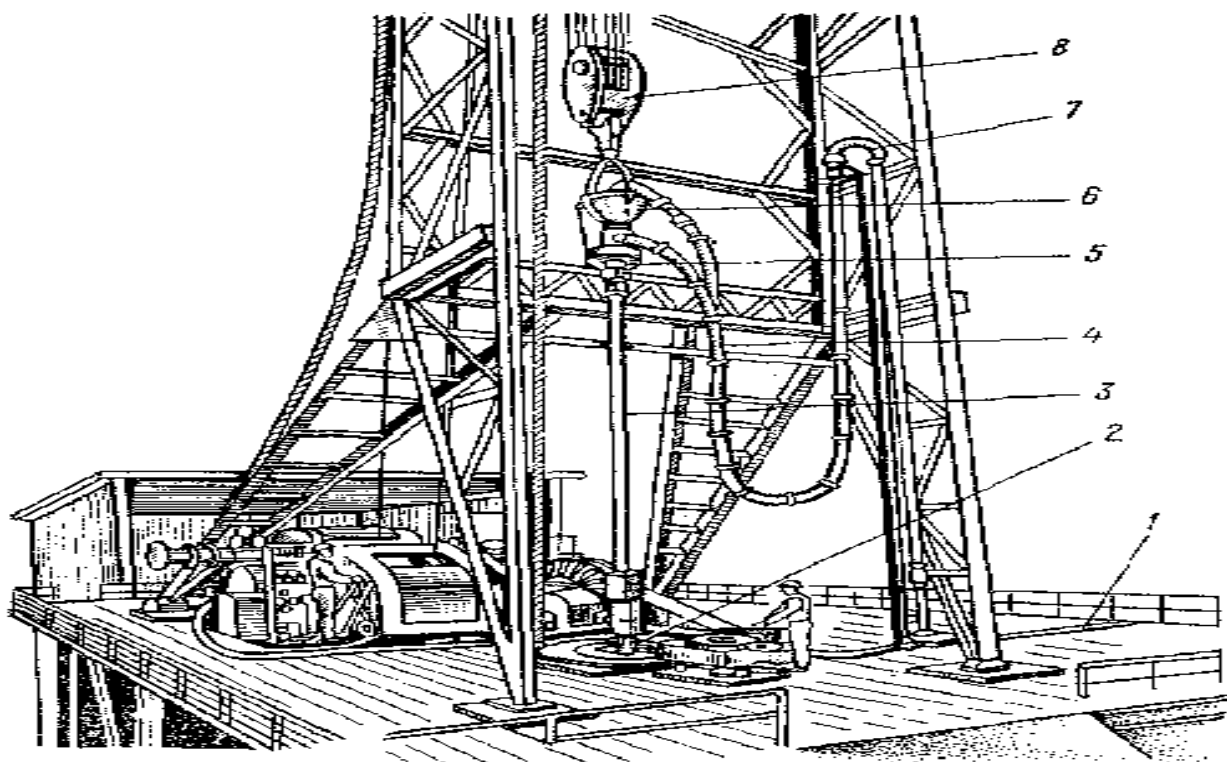


Рисунок 2 – Комплекс буровой установки

В его состав входит ротор 2, расположенный на полу буровой 1, вертлюг 6, подвешенный на крюке крюкоблока 8. Вертлюг посредством гибкого бурового рукава 4 и стояка 7 передаёт буровой раствор под давлением в буровую колонну. Посредством вращателя 5 и квадратной ведущей трубы 3 крутящий момент ротора передаётся буровой колонне и не передаётся талевой системе.

Спускоподъемные операции включают спуск буровых труб с породоразрушающим инструментом (буровой колонной) до забоя скважины и их подъем с отработанным породоразрушающим инструментом на поверхность. На рисунке 3 представлен спуско-подъемный комплекс **буровой** установки.

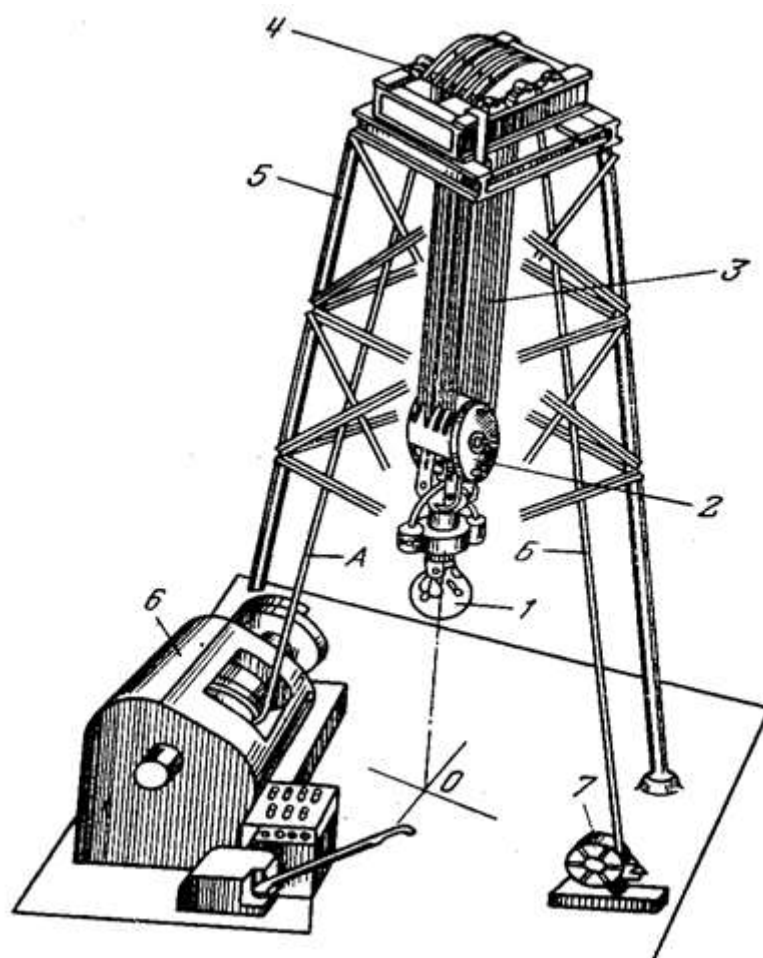


Рисунок 3 – Спуско-подъемный комплекс буровой установки

Спуско – подъемный комплекс буровой установки (рис. 4) представляет собой полиспастный механизм, состоящий из кронблока 4, талевого (подвижного) блока 2, стального каната 3, являющегося гибкой связью между буровой лебёдкой 6 и механизмом 7 крепления неподвижного конца каната. Кронблок 4 устанавливается на верхней площадке буровой вышки 5. Подвижный конец А каната 3 крепится к барабану лебедки 6, а неподвижный конец Б – через приспособление 7 к основанию вышки. К талевому блоку присоединяется крюк 1, на котором подвешивается на штропах элеватор для труб или вертлюг. В настоящее время талевый блок и подъемный крюк объединены в один механизм – крюкоблок.

Для производства спускоподъемных операций буровая вышка имеет талевую оснастку, состоящую из кронблока и талевого блока, на которые намотан талевый канат. К талевому блоку крепится крюк, к которому могут быть

прикреплены инструменты для спуска и подъема. Один конец талевого каната крепится к якорю, другой к лебедке.

Спуск бурильной колонны производится в следующем порядке. Собирают компоновку низа колонны (КНБК), состоящую из долота, калибровочных расширителей, центраторов и утяжеленных бурильных труб, соединенных между собой с помощью переводников. Производят спуск КНБК в скважину. Верхнюю часть закрепляют в роторе клиньями. Отцепляют элеватор и поднимают его до уровня верхней части свечи (несколько бурильных труб, число которых зависит от высоты буровой вышки, соединены муфтами в свечи). Свечи соединяют между собой замками. В элеватор заводят верхний конец свечи, элеватор закрывают и приподнимают всю свечу, чтобы установить ее в верхнюю часть опущенной в скважину бурильной колонны. Производят навинчивание свечи, после чего ее приподнимают, освобождая от клиньев, и производят спуск. Затем в бурильную колонну включают еще одну бурильную трубу, производят спуск колонны с таким расчетом, чтобы долото 1,5-2 м не дошло до забоя и подсоединяют ведущую бурильную трубу, имеющую четырехгранную, шестигранную или фигурную форму для крепления ее в роторе.

На этом операции по спуску заканчиваются и приступают к углублению скважины.

Непосредственно углубление скважины связано с разрушением породы на забое и транспортировкой разрушенной породы (шлама) от забоя на поверхность.

Транспортировка разрушенной породы на поверхность осуществляется с помощью бурового раствора подаваемого от насосов через их обвязку, гибкий буровой шлаг и вертлюг, ведущую трубу, бурильные трубы к долоту. Из долота через отверстия для промывки буровой раствор поступает к забою и вместе с буровым шламом поднимается на поверхность по кольцевому зазору между стенками скважины и бурильными трубами. На поверхности буровой

раствор подвергается очистке от частиц выбуренной породы и по системе желобов направляется в приемную емкость буровых насосов. После этого цикл его движения продолжается.

1.3 Насосно циркуляционный комплекс буровой установки

На рис. 4 показана схема циркуляции бурового раствора и примерное распределение потерь напора в отдельных элементах циркуляционной системы скважины глубиной 2900 м. Из резервуаров 13 очищенный и подготовленный раствор поступает в подпорные насосы 14, которые подают его в буровые насосы 1. Последние перекачивают раствор под высоким давлением (до 30 МПа) по нагнетательной линии, через стояк 2, гибкий рукав 3, вертлюг 4, ведущую трубу 5 к устью скважины 6. Часть давления насосов при этом расходуется на преодоление сопротивлений в наземной системе. Далее буровой раствор проходит по бурильной колонне 7 (бурильным трубам, УБТ и забойному двигателю 9) к долоту 10. На этом пути давление раствора снижается вследствие затрат энергии на преодоление гидравлических сопротивлений.

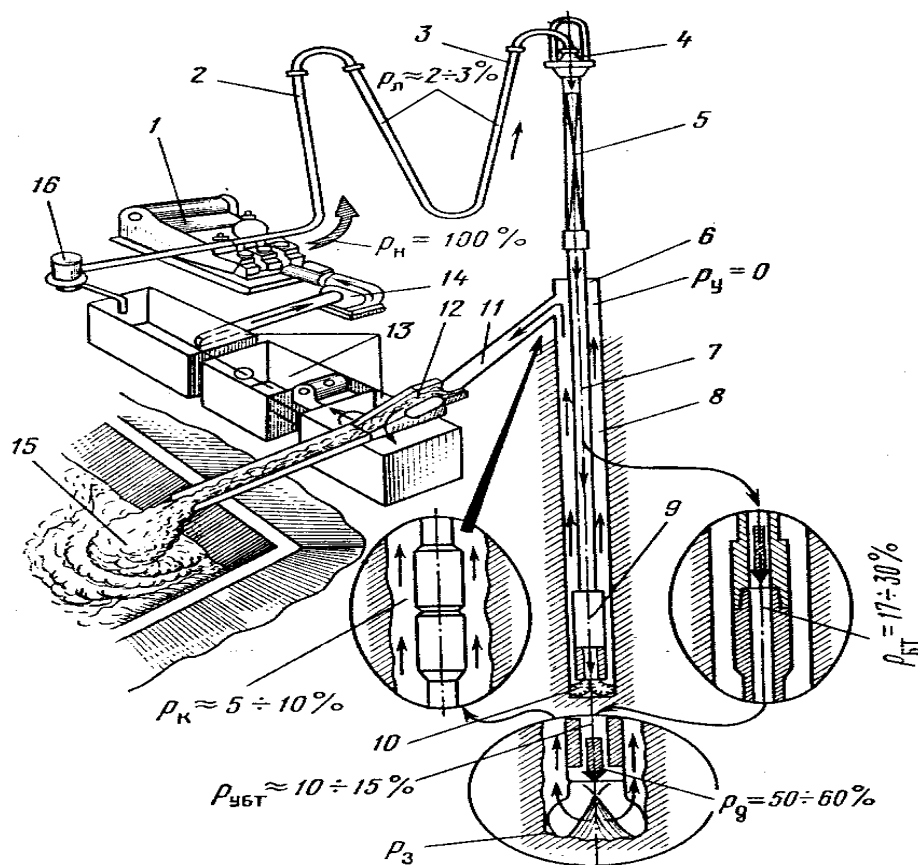


Рисунок 4 – Схема циркуляции бурового раствора

Затем буровой раствор вследствие разности давлений внутри бурильных труб и на забое скважины с большой скоростью выходит из насадок долота, очищая забой и долото от выбуренной породы. Оставшаяся часть энергии раствора затрачивается на подъём выбуренной породы и преодоление сопротивлений в затрубном кольцевом пространстве 8.

Поднятый на поверхность к устью 6 отработанный раствор проходит по растворопроводу 11 в блок очистки 12, где из него удаляются в амбар 15 частицы выбуренной породы и поступает в резервуары 13 с устройствами 16 для восстановления его параметров; и снова направляется в подпорные насосы.

Нагнетательная линия (манифольд) состоит из трубопровода высокого давления, по которому раствор подаётся от насоса 1 к стояку 2 и гибкому рукаву 3, соединяющему стояк 2 с вертлюгом 4. Манифольд оборудуется задвижками и контрольно – измерительной аппаратурой. Для работы в районах с холодным климатом предусматривается система обогрева трубопроводов.

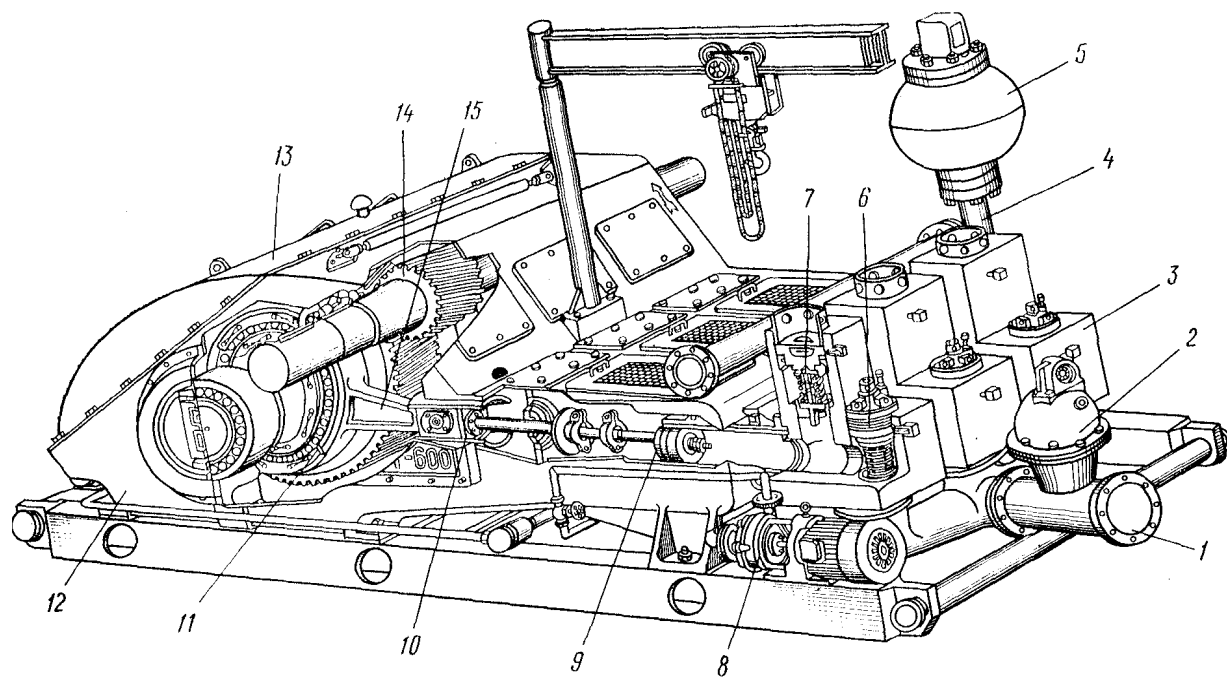


Рисунок 5 Буровой насос УНБ 600

2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТОВ СИЛОВОГО КАНАЛА ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА

2.1 Электропривод насоса как объект управления

Кинематическая схема привода насоса проста и представляет собой клиноременную передачу от электродвигателя к насосу, с передаточным отношением $i_{\text{рем}} = 2,041$ (с учетом скольжения в этой передаче 2%) и внутренний зубчатый редуктор насоса с передаточным отношением $i_{\text{ред}} = 3,152$ (см. рис.5), тогда общий коэффициент передачи $i_{\text{нач}} = i_{\text{ред}} \cdot i_{\text{рем}} = 3,152 \cdot 2,041 = 6,433$. КПД ременной передачи $\eta_{\text{рем}} = 0,95$, КПД насоса, учитывающий гидравлические и механические потери, $\eta_{\text{нас}} = 0,849$.

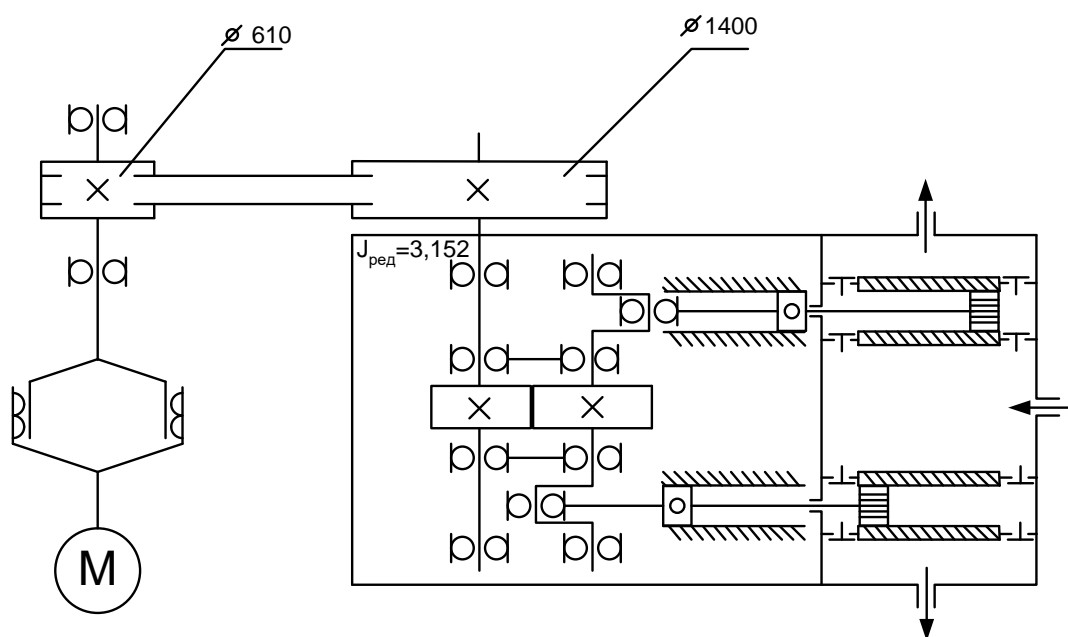


Рисунок 5 - Кинематическая схема насоса.

Насос поршневого принципа действия. Основным параметром режима работы насоса, является число двоичных ходов в минуту, численно равное скорости вращения вала насоса $n_{\text{нас}}$. Максимальная скорость вращения насоса $n_{\text{насмекс}} = 150$ об/мин. Тогда максимальная скорость вращения электродвигателя

$$n_{\text{двмакс}} = i_{\text{пер}} \cdot n_{\text{насмaкс}} = 6,433 \cdot 150 = 965 \text{ об/мин.}$$

Основные гидравлические параметры насоса:

P_{Γ} – давление на выходе насоса (МПа);

Q_{Γ} – подача жидкости, л/с $= 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

N_{Γ} – гидравлическая мощность, кВт, теоретически равная

$$N_{\Gamma} = P_{\Gamma} \cdot Q_{\Gamma}.$$

Подача P_{Γ} теоретически прямо пропорциональна скорости вращения насоса (и двигателя) вне зависимости от других параметров режима работы.

Конструктивно насос выполнен с возможностью установки сменных комплектов разного диаметра втулок и поршней. Рабочие режимы насоса ограничены максимальными значениями допустимого давления P_{Γ} и подачи жидкости Q_{Γ} , а соответственно и скорости вращения насоса и приводного двигателя (для каждого диаметра втулок и поршней D_d эти значения различны). Регулирование подачи $Q_{\Gamma} = \text{var}$ (производительности) насоса достигается регулированием скорости вращения насоса (двигателя) при постоянном значении давления $P_{\Gamma} = \text{const}$. На рисунке 6. показаны регулировочные характеристики насоса $P_{\Gamma}(Q_{\Gamma})$ для разных диаметров втулок и поршней. Здесь же показана предельная характеристика насоса (кривая В) для номинальной гидравлической мощности насоса $N_{\Gamma} = 540 \text{ кВт}$.

Расчетные характеристики насоса при изменении скорости вращения, полученные на основании характеристик рисунка 6. приведены на рисунке 7.

Режим работы электропривода насоса длительный. Поэтому мощность двигателя выбирается из условия работы насоса с максимальной производительностью. Во всех точках работы 1-7 на предельной характеристике А (см. рисунок 6.), мощность двигателя одинаковая и равна

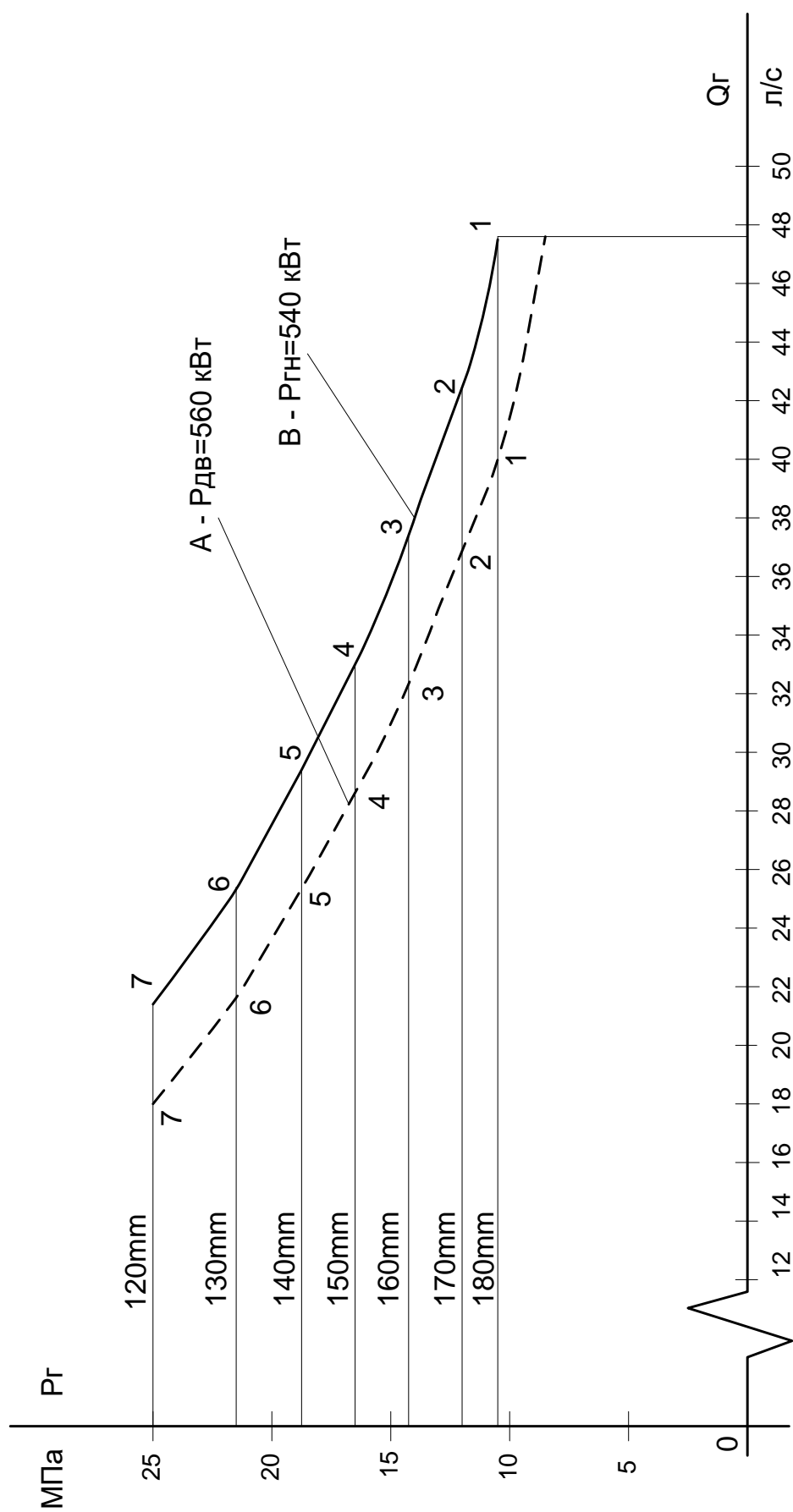


Рисунок 6 – Рабочие характеристики насоса для разных диаметров втулок: А – предельная характеристика при $P_{дв}=560$ кВт; В – предельная характеристика при $N_{гн}=540$ кВт

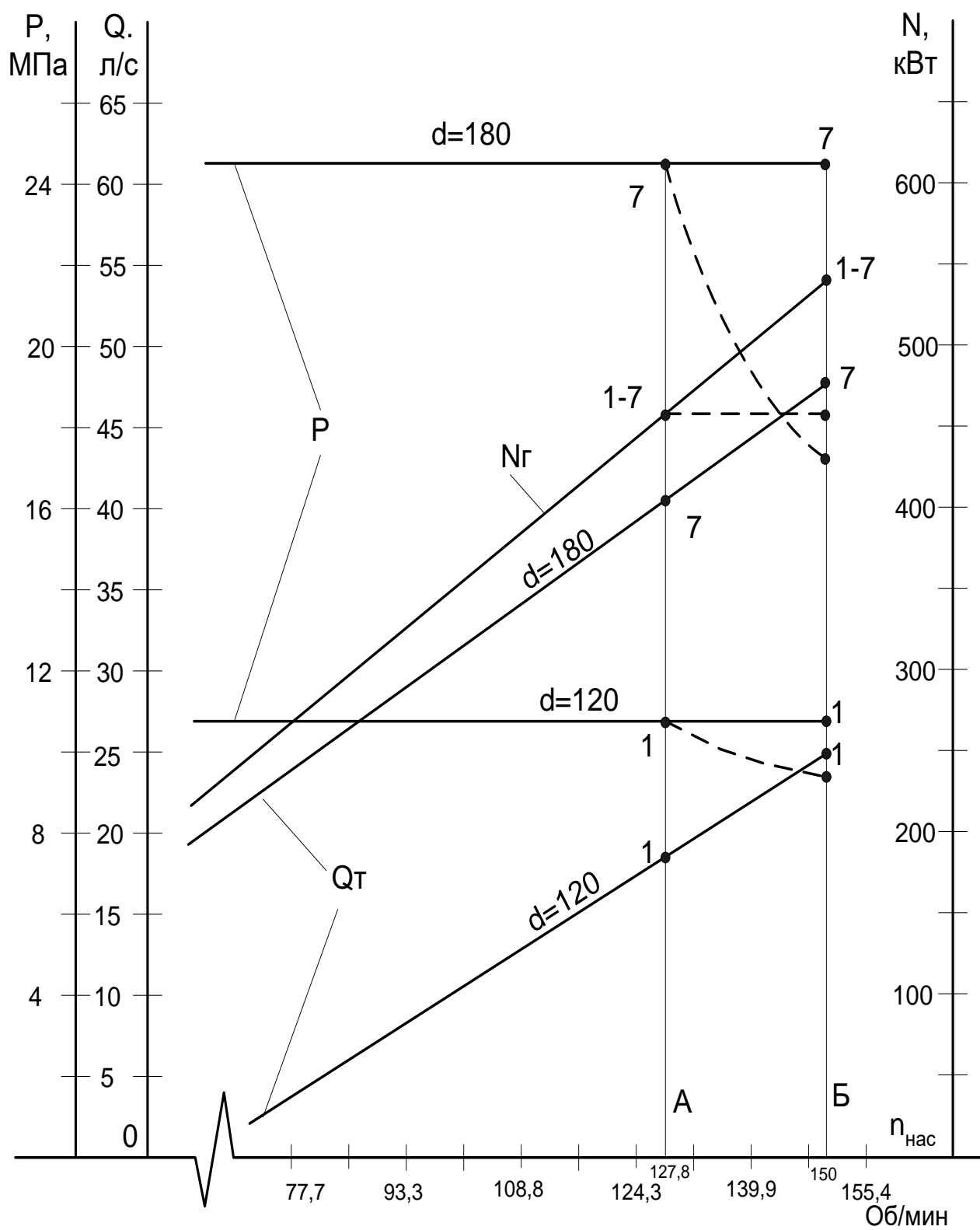


Рисунок 7 – Расчетные характеристики насоса

$P_{\text{двмакс}} = N_{\text{ГН}}/\eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{нас}} = 540/0,95 \cdot 0,849 = 669,5$ кВт. При номинальной мощности приводного двигателя $P_{\text{двн}} = 560$ кВт предельный режим работы системы двигатель-насос определяется предельной мощностью насоса

$$N_{\text{Гмакс}} = P_{\text{двн}} \cdot \eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{нас}} = 560 \cdot 0,95 \cdot 0,849 = 452 \text{ кВт.}$$

Предельные характеристики для этого режима показаны на рисунках 6 и 7 пунктирными линиями.

Таким образом, регулирование производительности насоса до скорости вращения 822 об/мин (86,08 рад/с) должно вестись при постоянном давлении, а при скорости выше 822 об/мин – при постоянной гидравлической мощности.

На основании характеристик насоса рассчитаны регулировочные характеристики электродвигателя (при условии $\eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{нас}} = \text{const}$).

Характеристики приведены на рисунке 6. Регулирование двигателей до скорости 822 об/мин (86,08 рад/с) ведется при постоянном электромагнитном моменте

$$M_{\text{двэм}} = I_{\text{двн}} \cdot K \cdot \Phi_{\text{двн}} \cdot \frac{\omega_{\text{дв}}}{\omega_{\text{А}}} = 1370 \cdot 126,7 \cdot 0,0629 \cdot \frac{500}{822} = 6641,2 \text{ Н} \cdot \text{м.}$$

До скорости $n_{\text{дв}} = 500$ об/мин ($\omega_{\text{двн}} = 52,36$ рад/с) что достигается изменением напряжения двигателя $U_{\text{дв}}$ при $\Phi_{\text{дв}} = \Phi_{\text{двн}}$. Регулирование происходит при постоянном токе двигателя

$$I_{\text{двн}} = \frac{M_{\text{двэм}}}{K \cdot \Phi_{\text{двн}}} = \frac{6641,2}{126,7 \cdot 0,0629} = 833,3 \text{ А.}$$

При скорости выше номинальной (до скорости $n_{\text{А}} = 822$ об/мин) это достигается ослаблением поля двигателя $\Phi_{\text{дв}}$ при номинальном напряжении двигателя.

2.2 Выбор и расчет параметров электродвигателя

Режим работы механизма насоса длительный, поэтому мощность двигателя выбирается по максимальной нагрузке

$$P_{\text{двн}} \geq P_{\text{двмакс}} = 560 \text{ кВт.}$$

Скорость двигателя выбирается из условий:

$$n_{\text{двн}} \geq n_{\text{дв}} = 500 \text{ об/мин,}$$

$$n_{\text{двмакс}} \geq 1000 \text{ об/мин.}$$

Выбираем электродвигатель типа МПЭ-500-500.

2.3 Паспортные параметры электродвигателя

Паспортные данные двигателя марки МПЭ-500-500 приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Паспортные параметры электродвигателя МПЭ-500-500

Наименование параметра	Обозначение	
Номинальная мощность, кВт	P_H	560
Номинальное напряжение, В	U_H	440
Номинальная скорость вращения, об/мин	n_H	500
Номинальный ток возбуждения, А	I_B	22
Номинальное напряжение возбуждения, В	U_B	220
Максимальная скорость вращения, об/мин	$n_{\text{МАХ}}$	1000
Момент инерции якоря, кг·м ²	J_D	40
Сопротивление обмотки якоря при 15°C, мОм	$R_{OЯ}$	7,29
Сопротивление дополнительных полюсов при 15°C, мОм	$R_{ДП}$	1,98
Сопротивление компенсационной обмотки при 15°C, Ом·10 ⁻³	$R_{КО}$	3,28
Число полюсов	$2p$	4
КПД двигателя, %	η	92
Число витков обмотки возбуждения на полюс	W_B	320
Максимально допустимый ток перегрузки двигателя, А	$I_{\text{МАКС}}$	$2,5I_H$
Номинальный поток возбуждения на полюс, Вб	Φ_H	0,0629

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 8.

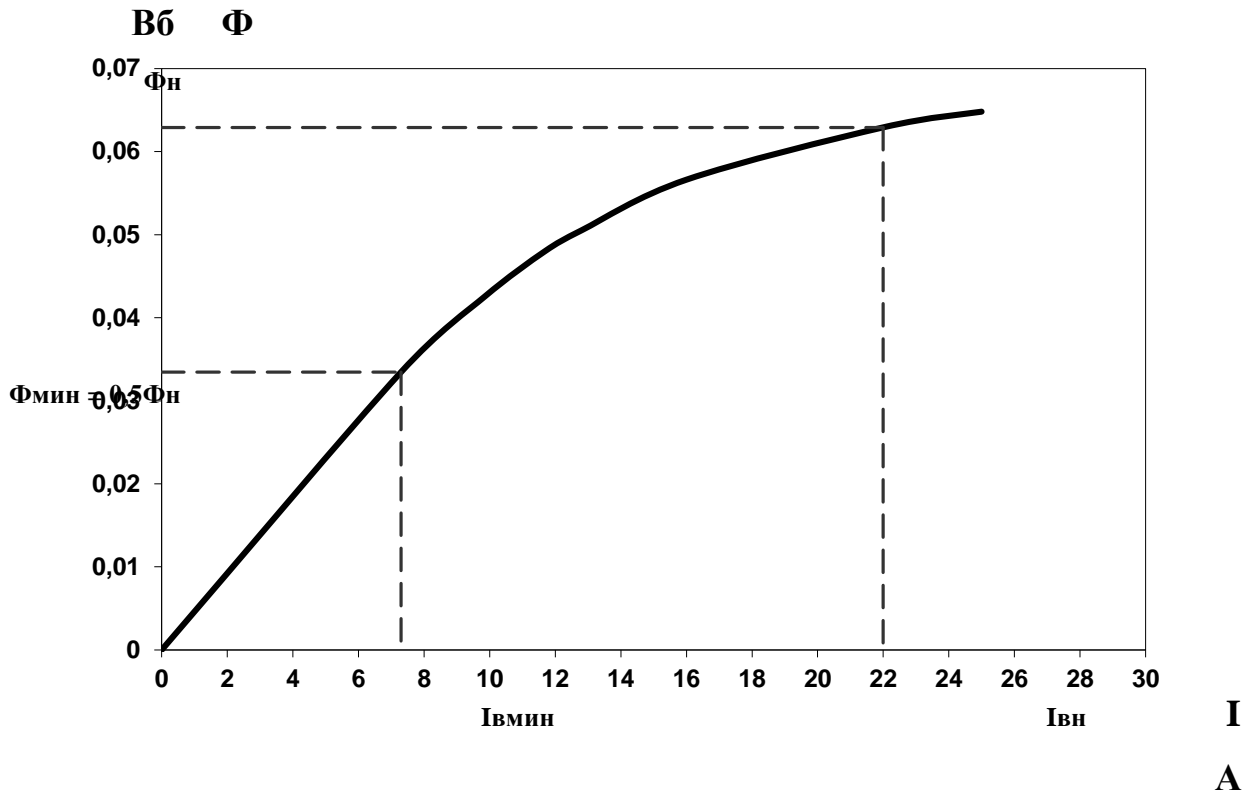


Рисунок 8 - Кривая намагничивания двигателя МПЭ-500-500

2.4 Расчетные параметры двигателя

Номинальный ток двигателя

$$I_{\text{двн}} = \frac{P_{\text{двн}} \cdot 10^{-3}}{\eta_{\text{дв}} \cdot U_{\text{двн}}} = \frac{10^3 \cdot 560 \cdot 100}{92,9 \cdot 440} = 1370 \text{ А.}$$

Номинальная угловая скорость

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{двн}}}{30} = \frac{3,14159 \cdot 500}{30} = 52,36 \text{ рад/с.}$$

Максимальная угловая скорость двигателя

$$\omega_{\text{макс}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{двмакс}}}{30} = \frac{3,14159 \cdot 1000}{30} = 104,72 \text{ рад/с.}$$

Номинальный момент двигателя

$$M_{\text{двн}} = \frac{P_{\text{двн}}}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{560 \cdot 10^3}{92,9 \cdot 440} = 10695,2 \text{ Н·м.}$$

Индуктивность двигателя

$$L_{\text{дв}} \cong \gamma \cdot \frac{U_{\text{двн}}}{p \cdot \omega_{\text{двн}} \cdot I_{\text{двн}}} = 0,15 \cdot \frac{440}{2 \cdot 52,3599 \cdot 1370} = 0,00046 \text{ Гн}$$

где $\gamma = 0,1-0,2$ - для машин с компенсационной обмоткой, принимаем $\gamma = 0,15$.

Сопротивление двигателя в холодном состоянии

$$R_{\text{дв}} = R_{\text{оя}} + R_{\text{дп}} + R_{\text{ко}} = 0,00729 + 0,00198 + 0,00328 = 0,01255 \text{ Ом.}$$

Сопротивление двигателя в горячем состоянии. Примем температуру перегрева обмоток 80°C

$$R_{\text{двгор}} = 1,32 \cdot R_{\text{дв}} = 1,32 \cdot 0,01255 = 0,0166 \text{ Ом.}$$

Коэффициент ЭДС $\left(\frac{B \cdot c}{\text{рад}} \right)$ и электромагнитного момента $\left(\frac{H \cdot m}{A} \right)$ при номинальном потоке возбуждения

$$C = (K \cdot \Phi_{\text{двн}}) = \frac{U_{\text{двн}} - I_{\text{двн}} \cdot R_{\text{двгор}}}{\omega_{\text{двн}}} = \frac{440 - 1370 \cdot 0,0166}{52,36} = 7,97$$

Конструктивный коэффициент двигателя

$$K = \frac{(K \cdot \Phi_{\text{двн}})}{\Phi_{\text{двн}}} = \frac{7,97}{0,0629} = 126,7$$

2.5 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

Кривая намагничивания двигателя приведена на рисунке 8.

Индуктивность обмотки возбуждения основного потока на графике кривой намагничивания от $\Phi_{\text{двн}}$ до $\Phi_{\text{дв мин}}$

- на начальном участке кривой намагничивания (максимальное значение)

$$L_{\text{овмакс}} = 2 \cdot p \cdot W_{\text{в}} \cdot \frac{\Delta \Phi_0}{\Delta I_{\text{ов}}} = 4 \cdot 320 \cdot \frac{0,06}{7} = 10,97 \text{ Гн,}$$

- в точке номинального режима работы (минимальное значение)

$$L_{овмин} = 2 \cdot p \cdot W_{\phi} \cdot \frac{\Delta \Phi_H}{\Delta I_{\phi H}} = 4 \cdot 320 \cdot \frac{0,012}{11} = 1,4 \text{ Гн},$$

- усредненное значение на рабочем участке ($\Phi_{мин} \div \Phi_H$)

$$L_{овср} = 2 \cdot p \cdot W_{\phi} \cdot \frac{\Delta \Phi_{ср}}{\Delta I_{\phi ср}} = 4 \cdot 320 \cdot \frac{0,06}{15} = 5,12 \text{ Гн},$$

- индуктивность потока рассеяния

$$L_s = 2 \cdot p \cdot W_{\phi} \cdot \frac{0,18 \Phi_H}{\Delta I_{\phi H}} = 4 \cdot 320 \cdot \frac{0,18 \cdot 0,0669}{22} = 0,700625454 \text{ Гн},$$

где $\delta = 0,18$ – коэффициент учета рассеяния потока.

- сопротивление обмотки возбуждения горячее

$$R_{овгор} = 1,3 \cdot R_{\phi} = 1,3 \cdot 5,5 = 7,15 \text{ Ом}.$$

2.6 Механическая система привода насоса

Расчетная схема механической системы привода насоса приведена на рисунке 9. и представляет собой одномассовую механическую систему.

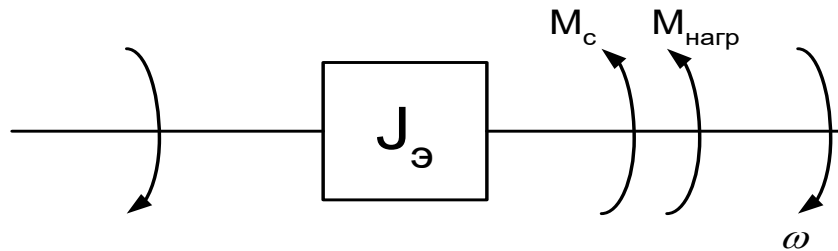


Рисунок 9 – Расчетная схема ОМС электропривода насоса

На рисунке 9. приняты обозначения:

$M_{двэм}$ – электромагнитный момент электродвигателя;

J_{ϕ} – эквивалентный момент инерции, приведенный к валу двигателя;

M_c – момент сопротивления (трения) приведенный к валу двигателя;

$M_{\text{нагр}}$ – полезный момент на валу насоса, реактивного по характера приведенный к валу двигателя.

Структурная схема одномассовой механической системы (ОМС) привода насоса приведена на рисунке 10.

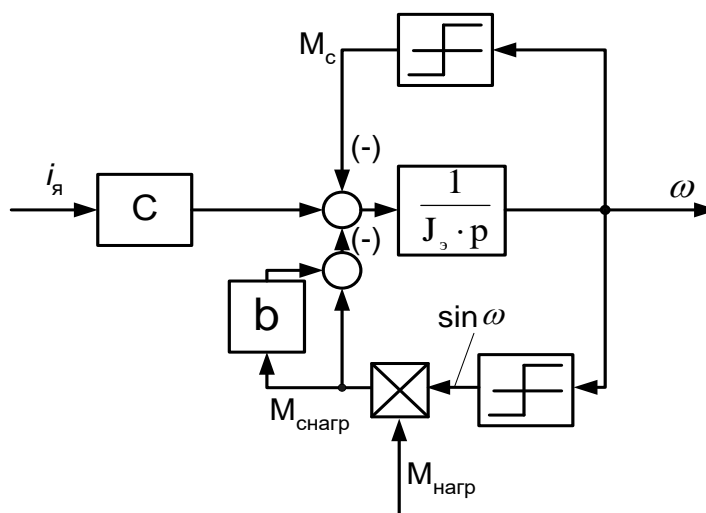


Рисунок 10 – Структурная схема ОМС электропривода насоса.

2.7 Параметры ОМС привода насоса

Эквивалентный момент инерции механизма, приведенный к валу двигателя, определяется по упрощенному выражению

$$J_{\text{э}} = (1,15 \div 1,25) J_{\text{дв}} = 1,25 \cdot 40 = 50 \text{ кг} \cdot \text{м}^2.$$

Момент сопротивления сил трения на валу электродвигателя

$$M_{\text{сдв}} = C \cdot I_{\text{двн}} - M_{\text{двн}} = 7,97 \cdot 1370 - 10695,2 = 223,7 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Постоянные потери в клиноременной передаче и постоянные потери насоса, учитывающее его механические и гидравлические потери

$$M_{\text{пос}} = a \cdot M_{\text{перн}} = 0,12 \cdot 6629,2 = 795,5 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$\text{где } a = v = \frac{1 - \eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{нас}}}{2 \eta_{\text{рем}} \cdot \eta_{\text{нач}}} = \frac{1 - 0,95 \cdot 0,849}{2 \cdot 0,95 \cdot 0,849} = 0,12,$$

a – коэффициент постоянных потерь в передаче,

v – коэффициент переменных потерь в передаче.

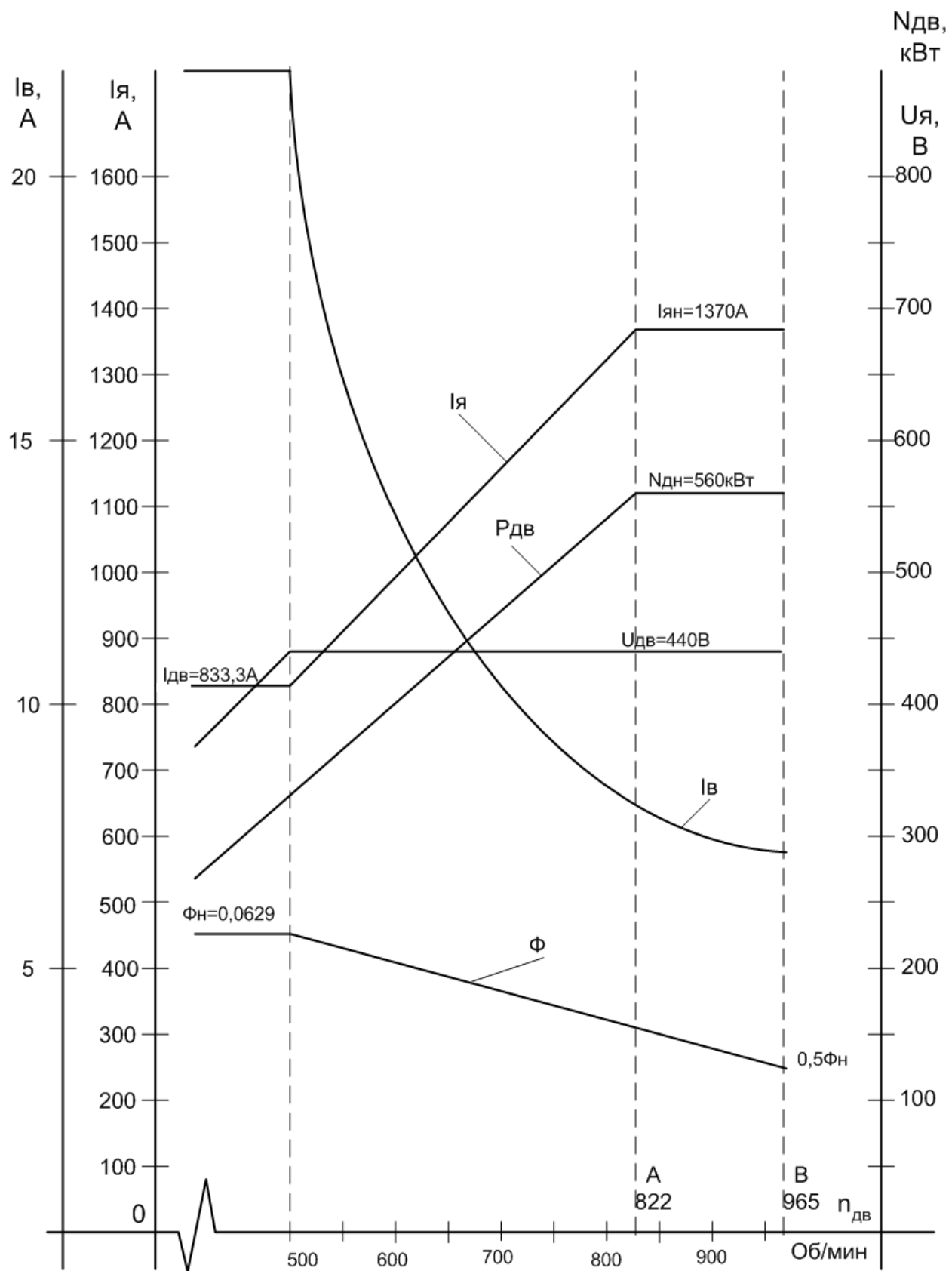


Рисунок 11 – Расчетные характеристики электропривода насоса

$M_{перн}$ – номинальный (расчетный), передаваемый момент передаточного механизма, ориентировочно определяем по выражению

$$M_{перн} = \frac{N_{гн}}{\omega_{насн} \cdot \eta_{рем} \cdot \eta_{нас} \cdot \eta_{пер}} = \frac{540 \cdot 10^3}{15,7 \cdot 0,95 \cdot 0,849 \cdot 6,433} = 6629 \text{ Н}\cdot\text{м},$$

$$\omega_{насн} = \frac{\pi \cdot n_{нас}}{30} = \frac{3,14 \cdot 150}{30} = 15,7 \text{ рад/с} - \text{номинальная угловая скорость}$$

насоса.

Момент на валу насоса приведенный к валу двигателя определяется выражением $M_{нас} = \frac{N_2}{\omega_{нас} \cdot i_{пер}}$.

Максимальное допустимое значение момента на валу насоса не зависит от диаметра втулки и поршня и может быть найдено, например, для работы в точке 7 на характеристике А рисунка 6 и 7.

$$M_{насмaкс} = \frac{N_{гмакс}}{\omega_{дв}} = \frac{452 \cdot 10^3}{86,08} = 5250,9 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

На рисунке 12. приведе на структурная схема ОМС привода насоса. Параметры механической системы:

$$M_c = M_{сдв} + M_{пoc} = 223,7 + 795,5 = 1019,2 \text{ Н}\cdot\text{м};$$

$$M_{снагр} = M_{нагр} \cdot \sin \omega;$$

$$M_{нагр} = 5250,9 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$$\phi = 0,12$$

2.8 Выбор тиристорного преобразователя

Условиями выбора преобразователя являются:

$$U_{дн} \geq U_{двн}; \quad I_{дн} \geq I_{двн}; \quad I_{дмакс} \geq I_{дмакс}.$$

По параметрам двигателя:

$$U_{двн} = 440 \text{ В}; \quad I_{двн} = 1370 \text{ А}; \quad I_{двмакс} = 2,5 \cdot 1370 = 3425 \text{ А}$$

выбираем преобразователь специального исполнения с техническими характеристиками:

- преобразователь нереверсивный;
- трехфазная мостовая схема выпрямления;
- преобразователь состоит из двух управляемых выпрямителей, включенных параллельно (см. рисунок 13.);
- сглаживающего реактора в цепи двигателя нет;

$$U_{дн} = 460 \text{ В};$$

$$I_{дн} = 1600 \text{ А};$$

$$I_{дмакс} = 2,25 \cdot I_{дн} = 3600 \text{ А} - \text{в течение } 10 \text{ с.}$$

Для регулирования скорости привода выше номинальной скорости двигателя ослаблением поля предусмотрен нереверсивный управляемый тиристорный возбудитель, выполненный по однофазной мостовой схеме выпрямления. (см. рисунок 6.).

2.9 Выбор трехфазного токоограничивающего реактора

Необходимое значение полного сопротивления обмотки фазы реактора

$$Z_{фрасч} = \frac{U_{кз} \% \cdot U_{сф}}{100 \cdot I_{фрасч}} = \frac{5,5 \cdot 380}{\sqrt{3} \cdot 100 \cdot 586,18875} = 0,02058 \text{ Ом}$$

$$\text{где } I_{фрасч} = k_{i2ф} \cdot k_i \cdot \frac{I_{двн}}{2} = 0,815 \cdot 1,05 \cdot \frac{1370}{2} = 586,2 \text{ А} - \text{расчетный}$$

фазный ток одной группы вентиляей;

$U_{сф}$ - фазное напряжение питающей сети;

$U_{кз}$ - напряжение короткого замыкания реактора, принимаем $U_{кз} = 5,5$ %.

Предварительно пренебрегаем активным сопротивлением обмоток реактора, тогда $X_{\text{фрасч}} = Z_{\text{ф}}$ и необходимое значение индуктивности обмотки фазы реактора

$$L_{\text{фрасч}} = \frac{X_{\text{фрасч}}}{\omega_c} = \frac{0,02058}{314} = 0,066 \cdot 10^{-3} \text{ Гн}$$

Выбираем трехфазный токоограничивающий реактор типа РТСТ-660-0,64у3 с паспортными данными:

$$U_{\text{Л}} = 410 \text{ В};$$

$$I_{\text{фн}} = 660 \text{ А};$$

$$L_{\text{р}} = 0,064 \cdot 10^{-3} \text{ Гн};$$

$$R_{\text{рф}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

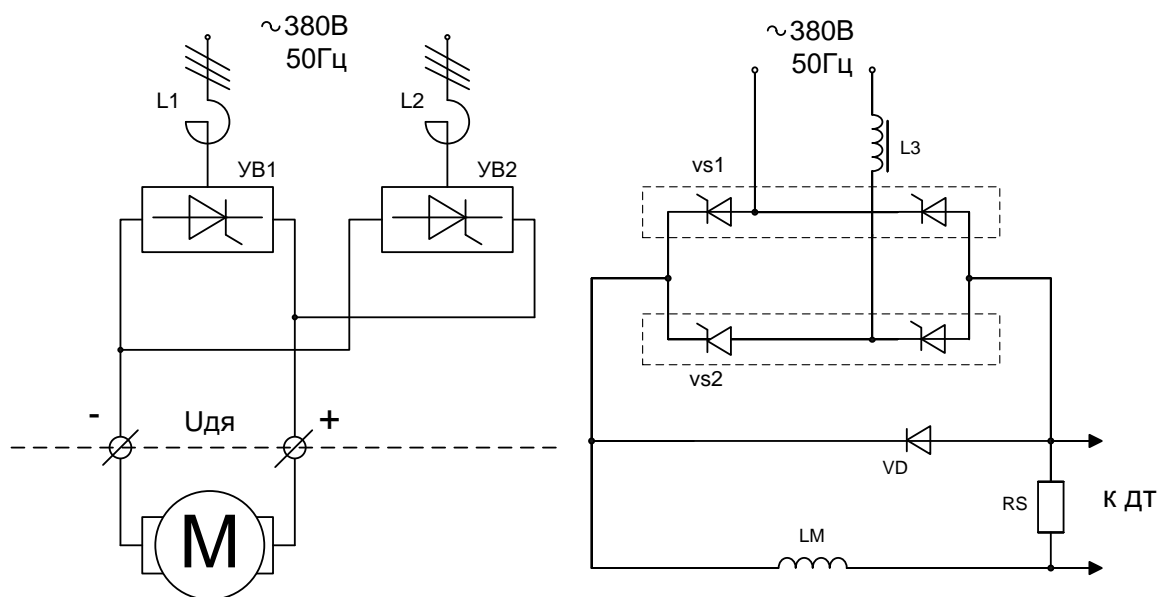


Рисунок 13 – Схема электрическая силовой цепи привода насоса

Индуктивное сопротивление обмотки фазы реактора

$$X_{\text{фрасч}} = \omega_c \cdot L_{\text{р}} = 314 \cdot 0,000064 = 20,1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}.$$

Активное сопротивление силовой цепи выпрямителя

$$R_{\text{к}} = \frac{m_{\text{в}} \cdot X_{\text{фрасч}}}{2 \cdot \pi} = \frac{6 \cdot 20,096 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot 3,14} = 0,019190266 \text{ Ом}$$

где $m_b=6$ число полюсов для трехфазной мостовой схемы выпрямления.

2.10 Расчет параметров якорной цепи привода

Сопротивление якорной цепи с учетом параллельного включения двух выпрямительных мостов

$$R_{яц} = R_{ТП} + R_{двгор} + 0,1 \cdot R_{двгор} = \\ = 11,6 \cdot 10^{-3} + 16,6 \cdot 10^{-3} + 0,1 \cdot 16,6 \cdot 10^{-3} = 29,86 \cdot 10^{-3} \text{ Ом},$$

$$\text{где } R_{ТП} = \left(\frac{2 \cdot R_{рф} + R_k}{2} \right) = \left(\frac{2 \cdot 2,1 \cdot 10^{-3} + 19 \cdot 10^{-3}}{2} \right) = 11,6 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

- сопротивление силовой цепи преобразователя.

Индуктивность якорной цепи

$$L_{яц} = L_{дв} + L_{ТП} = 0,46 \cdot 10^{-3} + 0,64 \cdot 10^{-4} = 0,524 \cdot 10^{-3} \text{ Гн},$$

$$\text{где } L_{ТП} = \frac{2 \cdot L_{рф}}{2} = \frac{2 \cdot 0,64 \cdot 10^{-4}}{2} = 0,64 \cdot 10^{-4} \text{ Гн} - \text{индуктивность силовой цепи преобразователя.}$$

Электромагнитная постоянная времени якорной цепи

$$T_{яц} = \frac{L_{яц}}{R_{яц}} = \frac{0,524 \cdot 10^{-3}}{29,86 \cdot 10^{-3}} = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ с.}$$

Максимальное значение граничного тока зоны прерывистых токов для якорной цепи

$$I_{дгрмакс} = \frac{1}{\omega_c} \cdot K_{грмакс} \cdot \frac{U_{сф}}{K_{u2} \cdot L_{яц}} = \\ = \frac{1}{3,14} \cdot 0,093 \cdot \frac{220}{0,428 \cdot 0,524 \cdot 10^{-3}} = 290,5 \text{ А},$$

$$\text{где } K_{грмакс} = 1 - \frac{\pi}{m_b} \cdot ctg \frac{\pi}{m_b} = 1 - \frac{3,14}{6} \cdot ctg \frac{3,14}{6} = 0,093;$$

$K_{u2} = 0,428$ - расчетный коэффициент напряжения для трехфазной мостовой схемы. Что в относительных единицах составляет

$$\frac{I_{\text{дгрмакс}}}{I_{\text{двн}}} = \frac{290,5}{1370} = 0,212.$$

Максимальная величина пульсаций тока двигателя при угле управления $\alpha = 90^\circ$ и номинальном токе нагрузки в %

$$P(1)\% = \frac{E_{\text{д(1)макс}} \cdot 100}{m_\theta \cdot \omega_c \cdot I_H \cdot L_{\text{яц}}} = \frac{124,6 \cdot 100}{6 \cdot 314 \cdot 1370 \cdot 0,524 \cdot 10^{-3}} = 9,21\%,$$

$$\text{где } E_{\text{д(1)макс}} = \frac{U_{\text{сн}} \cdot \sqrt{2} \cdot m_\theta}{K_{\text{u2}} \cdot (m_\theta^2 - 1)} = \frac{220 \cdot \sqrt{2} \cdot 6}{0,428 \cdot (6^2 - 1)} = 124,6\text{В}$$

- действующее значение первой гармоники выпрямленного напряжения при угле управления $\alpha = 90^\circ$.

Полученные результаты можно считать удовлетворительными, поэтому сглаживающий реактор в цепь двигателя не устанавливаем.

Электромеханическая постоянная времени привода

$$T_M = \frac{J_\mathcal{E} \cdot R_{\text{яц}}}{(K \cdot \Phi_{\text{дв}})^2}.$$

При номинальном потоке возбуждения двигателя

$$T_M = \frac{48 \cdot 29,86 \cdot 10^{-3}}{7,97^2} = 0,02256 \text{ с.}$$

При минимальном потоке возбуждения двигателя

$$T_M = \frac{48 \cdot 29,86 \cdot 10^{-3}}{3,985^2} = 0,01588 \text{ с.}$$

2.11 Расчет параметров тиристорного возбудителя двигателя

Для регулирования скорости выше номинальной скорости двигателя ослаблением поля, предусмотрен нереверсивный управляемый тиристорный возбудитель, выполненный по однофазной мостовой схеме выпрямления с нулевым вентилем.

Принципиальная электрическая схема тиристорного возбудителя двигателя насоса приведена на рисунке 14.

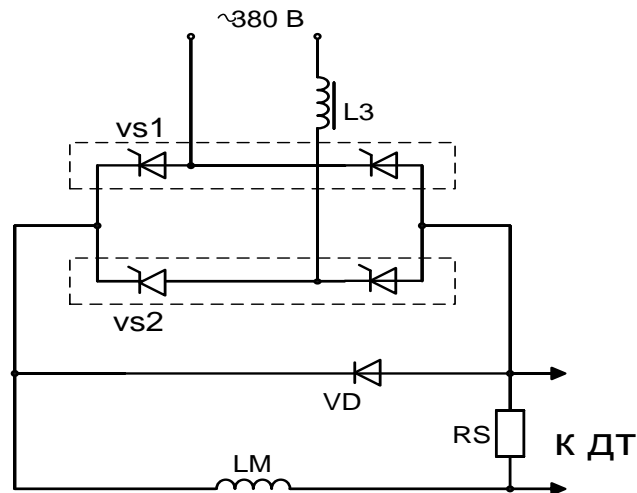


Рисунок 14 - Схема тиристорного возбудителя

Управляемый выпрямитель возбудителя выполнен по однофазной мостовой схеме выпрямления с нулевым вентилем. К однофазной сети возбудитель подключается через токоограничивающий реактор L3.

Номинальное напряжение обмотки возбуждения двигателя

$$U_{вн} = I_{вн} \cdot R_{овгор} = 22 \cdot 7,15 = 157,3 \text{ В.}$$

Требуемое напряжение однофазной сети

$$U_c = \frac{K_{u2} \cdot U_{вн}}{\cos \alpha_{мин}} = \frac{1,11 \cdot 157,3}{\cos 30^\circ} = 201,23 \text{ В.}$$

Для обеспечения коэффициента форсировки при восстановлении потока двигателя принимаем номинальное напряжение однофазной сети возбудителя

$$U_{\text{сн}} = U_{\text{л}} = 380 \text{ В.}$$

Необходимое значение сопротивления токоограничивающего реактора

$$Z_{p3} = \frac{U_{\text{кз}} \cdot U_{\text{фн}}}{100 \cdot I_{\text{фрасч}}} = \frac{5,5 \cdot 380}{100 \cdot 36,63} = 0,57 \text{ Ом,}$$

где $I_{\text{фрасч}} = K_{i\phi} \cdot K_i \cdot I_{\text{дн}} = 1,11 \cdot 1,1 \cdot 30 = 36,63 \text{ А}$ - расчетный ток возбуждителя, потребляемый из сети;

$I_{\text{дл}} = 30 \text{ А}$ - номинальный выпрямленный ток типового возбудителя;

$U_{\text{эс}} = 5,5\%$ -напряжение К.З. реактора.

Пренебрегая активным сопротивлением реактора $R_p \approx 0$ определим индуктивное сопротивление и индуктивность обмотки реактора

$$X_{\text{фрасч}} = Z_{\text{фрасч}} = 0,02058 \text{ Ом,}$$

$$L_{\text{фрасч}} = \frac{X_{\text{фрасч}}}{\omega_c} = \frac{0,02058}{314} = 6,55 \cdot 10^{-5} \text{ Гн,}$$

$$\text{где } \omega_{\tilde{n}} = 2\pi \cdot f_c = 2 \cdot 3,14159 \cdot 50 = 314 \text{ рад/с.}$$

Выбираем типовой блок возбудителя двигателя БВД исполнения «01» с параметрами:

$I_{\text{дн}} = 30 \text{ А}$ - номинальный ток;

$U_{\text{упв макс}} = 10 \text{ В}$ - максимальное напряжение управления на входе возбудителя;

$\alpha_{\text{мин}} = 30^\circ$, $\alpha_{\text{нач}} = 150^\circ$, $\alpha_{\text{макс}} = 180^\circ$ - углы управления возбудителем.

Среднее значение ЭДС возбудителя при угле управления $\alpha = 0^\circ$

$$E_{\text{дос}} = \frac{U_c}{K_{u2}} = \frac{380}{1,11} = 342 \text{ В.}$$

Максимальное значение коэффициента усиления тиристорного возбудителя

$$K_{\text{ТПВ макс}} = \frac{\pi \cdot E_{\text{дов}}}{U_{\text{упв макс}}} \cdot \frac{\alpha_{\text{нач}} - \alpha_{\text{мин}}}{180^\circ} = \frac{3,14 \cdot 342}{10} \cdot \frac{150^\circ - 30^\circ}{180^\circ} = 71,5.$$

15) Регулировочная характеристика возбудителя имеет вид (см. рисунок

$$E_{ТПВ} = \frac{E_{дов}}{2} \cdot (1 + \cos \alpha).$$

Постоянная времени тиристорного возбудителя

$$T_{ТПВ} = \frac{0,5}{m_B \cdot f_C} = \frac{0,5}{2 \cdot 50} = 0,005 \text{ с.}$$

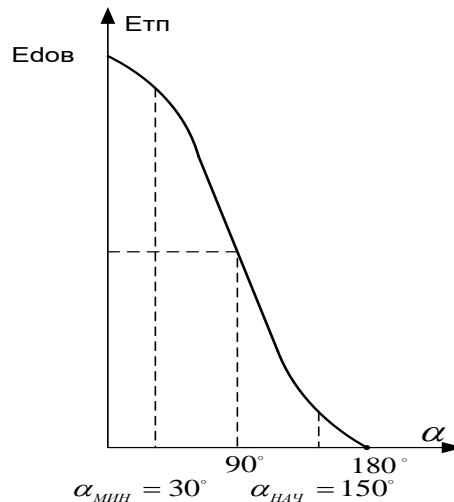


Рисунок 15 - Регулировочная характеристика возбудителя

Коэффициент передачи датчика тока возбуждения

$$K_{ДТВ} = \frac{U_{дтв.макс}}{I_{двн}} = \frac{10}{30} = 0,333 \text{ В/А.}$$

2.12 Расчет параметров цепи обмотки возбуждения двигателя

Сопротивление цепи обмотки возбуждения (активным сопротивлением цепи тиристорного возбудителя пренебрегаем).

$$R_{ЦВ} = R_{ОВГОР} + 0,1 R_{ОВГОР} = 7,15 + 0,1 \cdot 7,15 = 7,865 \text{ Ом.}$$

Постоянная времени основного потока обмотки возбуждения

$$T_{\psi} = \frac{L_{ОВ}}{R_{ЦВ}} = \frac{5,12}{7,865} = 0,651 \text{ с}$$

где $L_{ОВ}$ принимаем равной $L_{ОВСР} = 5,12 \text{ Гн.}$

Постоянная времени потока рассеяния обмотки возбуждения

$$T_s = \frac{L_s + L_{ppacч}}{R_{\text{ув}}} = \frac{0,7 + 0,131 \cdot 10^{-3}}{7,865} = 0,089 \text{ с}$$

где $L_{ppacч} = 2 \cdot L_{фpacч} = 2 \cdot 0,0655 \cdot 10^{-3} = 0,131 \cdot 10^{-3}$ Гн – индуктивность цепи возбудителя.

Постоянная времени контура вихревых токов

$$T_k \cong 0,1 \cdot T_{\text{с}} = 0,0651 \text{ Гн.}$$

Цепь обмотки возбуждения представим в виде передаточной функции

$$\begin{aligned} W(p) &= \frac{1/R_{\text{ув}}}{(T_1 \cdot p + 1)(T_2 \cdot p + 1)} = \\ &= \frac{1/7,865}{(0,7978p + 1) \cdot (0,00726p + 1)} = \frac{0,127}{0,00579p^2 + 0,80506p + 1}, \\ \text{где } T_{1,2} &= \frac{T_{\text{с}} + T_s + T_k}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{T_{\text{с}} + T_s + T_k}{2}\right)^2 - T_s \cdot T_k} \\ T_{1,2} &= \frac{0,651 + 0,089 + 0,0651}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{0,651 + 0,089 + 0,0651}{2}\right)^2 - 0,089 \cdot 0,0651} = \\ &= 0,40255 \pm 0,39529 \text{ с,} \end{aligned}$$

тогда $T_1 = 0,797837 \text{ с,}$

$T_2 = 0,007262 \text{ с.}$

2.13 Определение области допустимой работы электропривода насоса

Область работы электропривода ограничена с одной стороны допустимым током двигателя и преобразователя: $I_{\text{ЭП макс}} = 2 \cdot I_{\text{двн}} = 2740 \text{ А}$ при $\Phi_{\text{дв}} = \Phi_{\text{двн}}$ и $I_{\text{ЭП макс}} = 1,5 \cdot I_{\text{двн}} = 2055 \text{ А}$ при $\Phi_{\text{дв}} < \Phi_{\text{двн}}$, а с другой стороны минимальным углом управления преобразователем $\alpha = \alpha_{\text{мин}}$.

Минимальный угол управления преобразователем якорной цепи при пониженном напряжении сети

$$\alpha_{мин} = \arccos \frac{C \cdot \omega_{эпмакс} + I_{двн} \cdot R_{яц}}{K_{ис} \cdot E_{d0}} = \arccos \frac{7.97 \cdot 52.36 + 1370 \cdot 0.02997}{0.9 \cdot 512.6}$$

$$\alpha_{мин} = \arccos 0.996279125 = 5.49354^{\circ},$$

принимаем $\alpha_{мин} = 6^{\circ}$.

Предельная электро механическая характеристика привода при $\alpha_{мин}$ и

$\Phi_{двном}$

$$\omega(I) = \frac{1}{K \cdot \Phi_{двном}} (K_{ис} \cdot E_{d0} \cdot \cos \alpha_{мин} - I_{двн} \cdot R_{яц}).$$

Результаты расчетов сведены в таблицу 2.

Таблица 2 - Область работы электропривода

	K _{ис} =0.9			
$\Phi_{дв}=0,11$	I _{дв} А	0	I _{двн} 1370	I _{двмакс} 3425
	$\omega_{дв}$ рад•с	57,63	52,48	44,75
	K _{ис} =1			
$\Phi_{дв}=0,11$	I _{дв} А	0	I _{двн} 1370	I _{двмакс} 3425
	$\omega_{дв}$ рад•с	64,03	58,88	51,15
	K _{ис} =0.9			
$\Phi_{дв}=0,055$	I _{дв} А	0	I _{двн} 1370	I _{двмакс} 3425
	$\omega_{дв}$ рад•с	115,25	104,95	89,5
	K _{ис} =1			
$\Phi_{дв}=0,055$	I _{дв} А	0	I _{двн} 1370	I _{двмакс} 3425
	$\omega_{дв}$ рад•с	128,06	117,76	102,3

По табличным данным на рисунке 16 построены предельные характеристики электропривода насоса, ограничивающие его область допустимой работы в 1 квадранте.

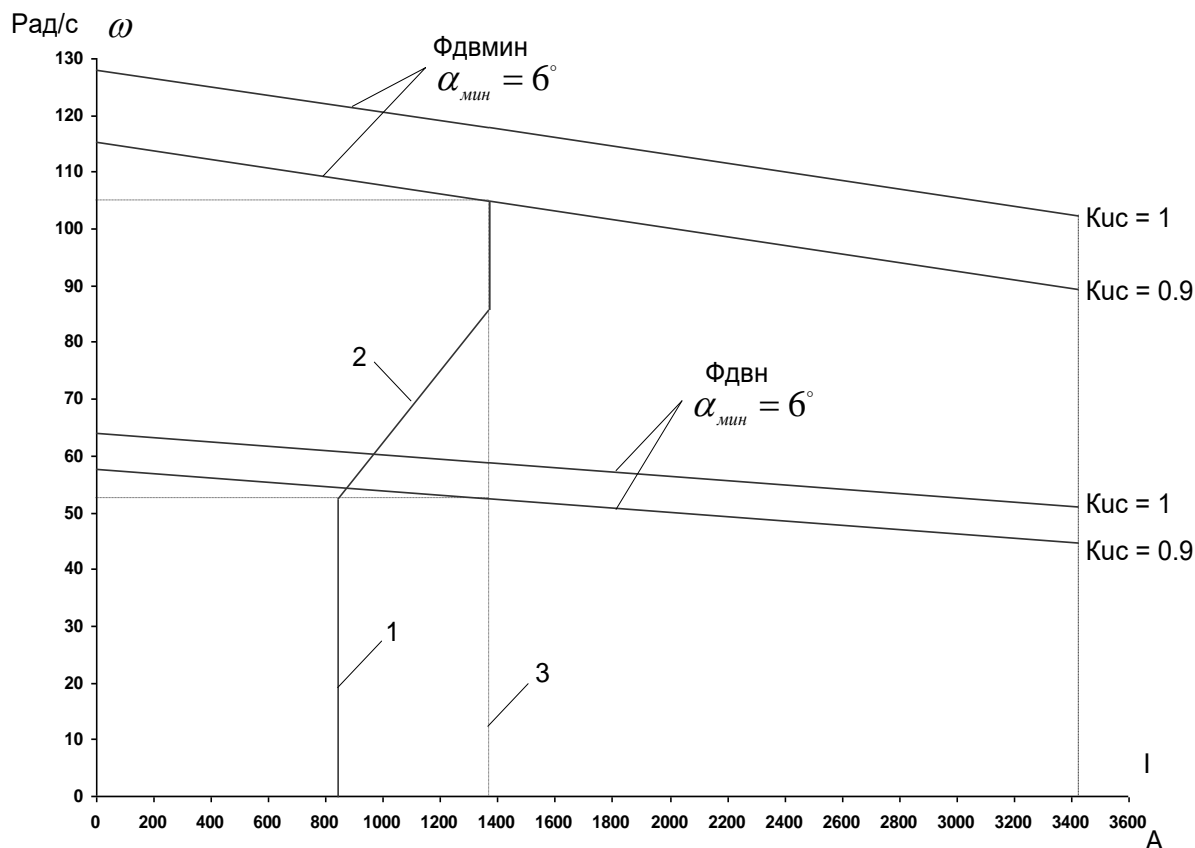


Рисунок 16 - Область допустимой работы электропривода насоса

Преобразователь электропривода насоса нереверсивный, поэтому в инверторном режиме он может обеспечить работу привода в 4 квадранте, при активной нагрузке на валу двигателя. Нагрузка механизма насоса реактивная по характеру, поэтому работа привода возможна только в 1 квадранте.

На рисунке 16 в области работы электропривода нанесена предельная характеристика 1-2-3, учитывающая допустимые нагрузки механизма насоса (см. рисунок 6 и 7). Характеристика 1-2-3 полностью располагается в области допустимой работы электропривода, что гарантирует возможность привода обеспечить требуемые предельные нагрузки механизма насоса.

Скорость вращения вала электродвигателя:

$$\omega = \frac{E_d - I_d \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c},$$

где: $E_d = E_{d0} \cdot \cos(\alpha)$ – среднее значение выпрямленной ЭДС в режиме непрерывного тока;

α – угол включения тиристора, отсчитываемый от точки естественной коммутации;

ΔU_{ϵ} – прямое падение напряжение на тиристоре.

Для получения соответствующей скорости вращения вала двигателя произведем ряд преобразований и получим выражение для нахождения угла управления в функции скорости:

$$\alpha(\omega) = \arccos \left(\frac{\omega \cdot c + I_d \cdot R_{яц} + \Delta U_{\epsilon}}{E_{d0}} \right).$$

Для построение электромеханических характеристик в зоне непрерывного тока воспользуемся итоговым выражением:

$$\omega(I) = \frac{E_{d0} \cdot \cos(\alpha(\omega)) - I \cdot R_{яц} - \Delta U_{\epsilon}}{c}.$$

Характеристики имеют линейный характер. Однако в действительности в области малых нагрузок появляется зона прерывистых токов, она тем больше, чем больше угол α . Появление зоны прерывистого токов обусловлено тем, что в определенные промежутки времени мгновенное значение выпрямленного напряжения преобразователя становится меньше встречно действующей ЭДС двигателя, и, как следует из уравнения равновесия ЭДС становится отрицательной. Ток должен изменить направление на противоположное. Но поскольку вентили обладают односторонней проводимостью, ток становится равным нулю. При больших нагрузках несмотря на то, что в определенные промежутки времени мгновенное значение напряжения становится меньше ЭДС двигателя, ток не прерывается, является непрерывным. Объясняется это тем,

что при больших нагрузках запас электромагнитной энергии в цепи выпрямленного тока значительный. Переходу от режима непрерывного тока к прерывистому соответствует режим начально-непрерывного тока, являющегося граничным. Величина граничного тока зависит от угла α и параметров схемы.

Проведем расчет и построение характеристик в зоне прерывистых токов. Для этого найдем угол открывания, измеренный от начала положительной полуволны синусоиды фазной ЭДС:

$$\theta_0(\alpha) = \frac{180}{\pi} \cdot \left(\alpha(\omega) + \left(\frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{m_e} \right) \right).$$

Значение ЭДС в относительных единицах в зависимости от угла управления α в зоне прерывистых токов:

$$e(\alpha) = \cos\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot \frac{\sin\left((\theta_0(\alpha) - \theta) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \sin\left((\theta_0(\alpha) + \lambda - \theta) \cdot \frac{\pi}{180}\right) \cdot e^{\frac{\lambda \cdot \pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}{1 - e^{\frac{\lambda \cdot \pi}{180} \cdot \cot\left(\theta \cdot \frac{\pi}{180}\right)}}$$

где угол $\lambda = \frac{2 \cdot 180}{m_e} = 60$ град – угол проводимости тиристоров;

угол θ – угол отставания тока в якоре от напряжения. Он обусловлен присутствием в цепи якоря индуктивности $L_{яц}$. Угол θ найдем по выражению:

$$\theta = \arctan\left(\frac{\omega_0 \cdot L_{яц}}{R_{яц}}\right) \cdot \frac{180}{\pi}.$$

Значение тока в относительных единицах в зоне прерывистых токов:

$$i(\alpha) = \frac{m_e}{2 \cdot \pi} \left(\cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \cos\left((\lambda + \theta_0(\alpha)) \cdot \frac{\pi}{180}\right) - \lambda \cdot \frac{\pi}{180} \cdot e_{cp}(\alpha) \right),$$

Характеристики режима прерывистого тока можно построить в абсолютных единицах $\omega = f(I)$ по следующим выражениям:

$$\omega(\alpha) = e(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right) - \Delta U_e}{c},$$

$$I(\alpha) = i(\alpha) \frac{\sqrt{2} \cdot U_n \cdot \cos\left(\theta_0(\alpha) \cdot \frac{\pi}{180} - \frac{\pi}{2}\right)}{R_{яц}}.$$

Если в приведенных выражениях задавать угол открытия тиристоров α (в диапазоне $0 \dots 180$) и угол проводимости λ ($0 \dots 60$), то получим семейство электромеханических характеристик в зоне прерывистых токов. Электромеханические характеристики системы УВ-Д построены в программе MathCad и представлены на рис. 17:

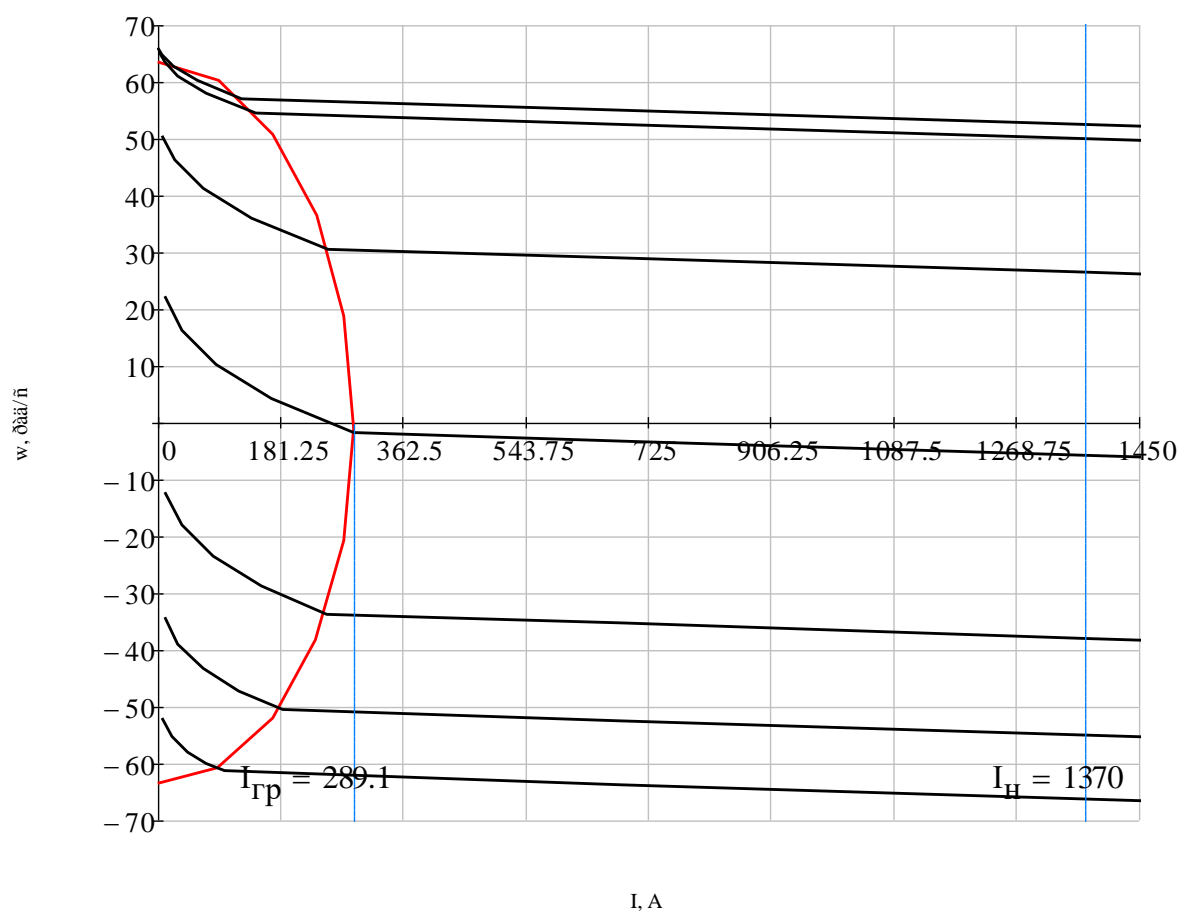


Рисунок 17 – Электромеханические характеристики системы УВ-Д с раздельным управлением

2.14 Структурная схема силового канала электропривода насоса

Структурная схема силового канала электропривода приведена на рисунке

18. Параметры элементов силового канала сведены в таблицу 3.

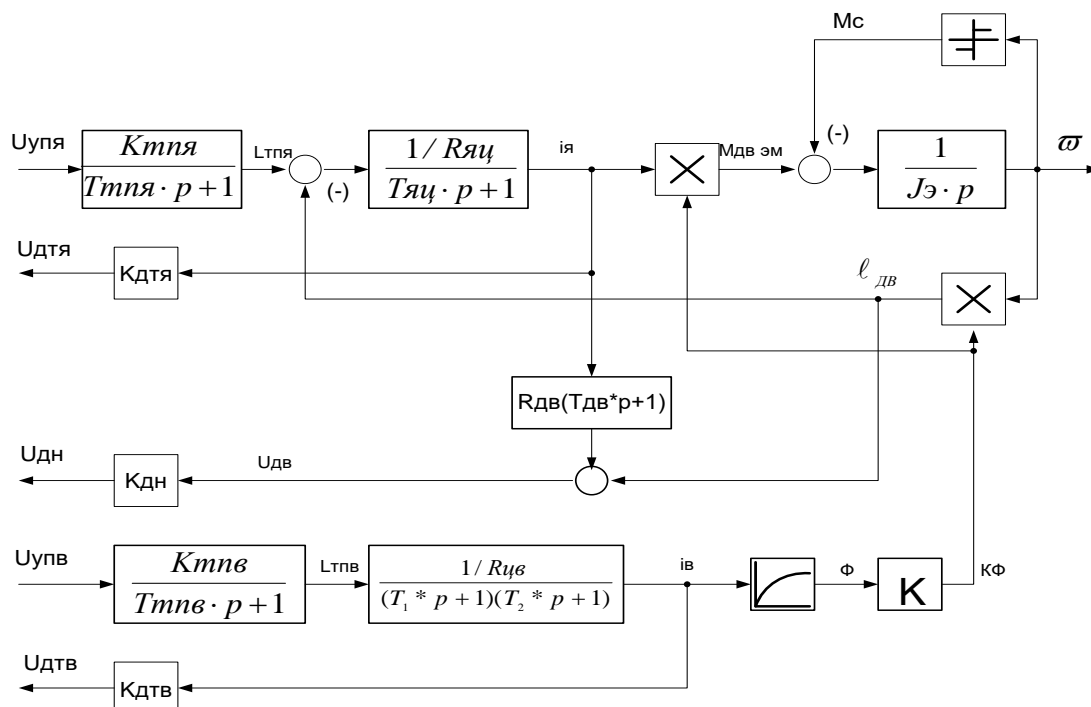


Рисунок 18 - Структурная схема силового канала электропривода

Коэффициент передачи датчика тока якоря

$$K_{ДТЯ} = \frac{U_{Дтямакс}}{I_{ямакс}} = \frac{10}{1600} = 0,00625 \text{ В/А.}$$

Коэффициент передачи датчика напряжения двигателя

$$K_{\text{ДН}} = \frac{U_{\text{днмакс}}}{U_{\text{макс}}} = \frac{10}{500} = 0,02.$$

Коэффициент передачи датчика тока преобразователя возбуждения

$$K_{ДТВ} = \frac{U_{дтв\max}}{I_{в\max}} = \frac{10}{30} = 0,333 \text{ В/А.}$$

Эквивалентная индуктивность цепи обмотки возбуждения

$$L_{\text{ИБЭ}} = T_1 \cdot R_{\text{ИБ}} = 0,7978 \cdot 7,865 = 6,275 \text{ Гн.}$$

Таблица 3 – Параметры элементов силового канала электропривода насоса

$K_{\text{ТПЯ}}$	$T_{\text{ТПЯ}},$ с	$R_{\text{яц}},$ Ом	$L_{\text{яц}},$ Гн	$R_{\text{дв гор}},$ Ом
98,412	0,00167	0,02986	0,000524	0,0166
$L_{\text{дв}},$ Гн	$T_{\text{яц}},$ с	С	$J_{\text{э}},$ кг•м ²	$K_{\text{дтЯ}},$ В/А
0,00046	0,0175	7,97	50	0,00625
$K_{\text{дн}}$	$K_{\text{ТПВ}}$	$T_{\text{ТПВ}},$ С	$R_{\text{цв}},$ Ом	$T_1,$ С
0,02	71,52	0,005	7,865	0,7978
$T_2,$ С	$L_{\text{цвэ}},$ Гн	К	$K_{\text{дтв}},$ В/А	$M_{\text{с}}$ Н•м
0,0007262	6,275	126,7	0,333	1019,2

3 ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕАРИЗОВАННОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА

3.1 Функциональная схема электропривода бурового насоса

Функциональная схема электропривода насоса приведена на рисунке 19. Основные функциональные устройства электропривода насоса:

- МР-электродвигатель насоса;
- ТП-тиристорный преобразователь;
- ОВ-обмотка возбуждения двигателя;
- СК-сельсинный командоаппарат;
- САР^{”ндв”}-система автоматического управления скоростью электропривода;
- САР^{”Iв”}-система автоматического управления током возбуждения двигателя.

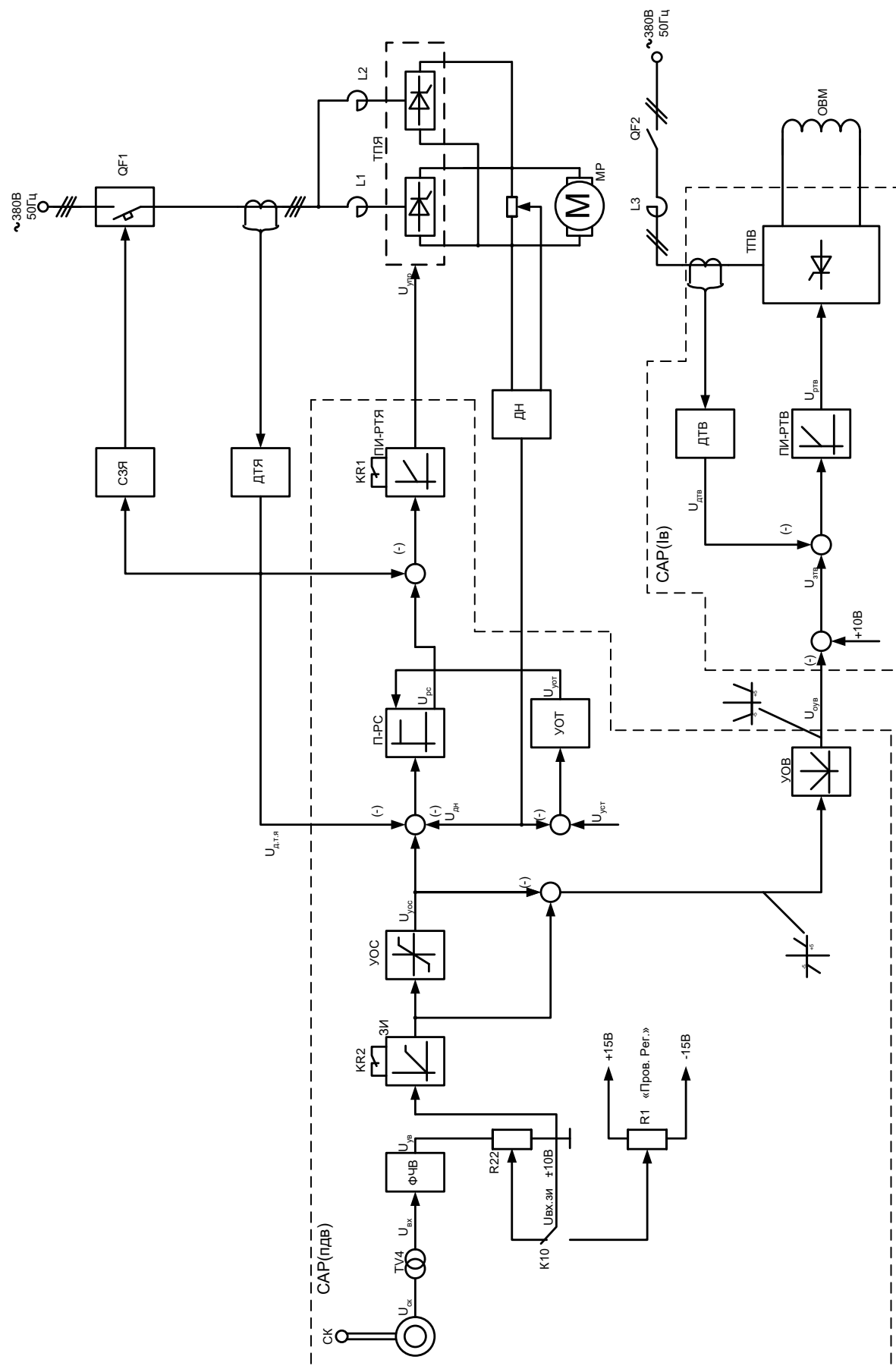
Устройства САР скорости электропривода расположены в базовом блоке регуляторов (БРБ) и включают в себя следующие функциональные узлы:

- ФЧВ-фазочувствительное выпрямительное устройство;
- ЗИ-задатчик интенсивности;
- УОС- устройство ограничения сигнала задания скорости;
- УОВ- узел ослабления тока возбуждения;
- РС- регулятор скорости;
- РТЯ- регулятор тока якоря;
- УОТ- узел ограничения тока якорной цепи;

В блоке возбуждения двигателя (БВД) находятся следующие функциональные узлы:

- РТВ- регулятор тока возбуждения;
- ДТВ- датчик тока возбуждения;
- ТПВ- тиристорный возбудитель двигателя, выполненный по нереверсивной однофазной мостовой схеме выпрямления.

Датчики тока якоря ДТЯ и напряжения ДН двигателя конструктивно расположены в других блоках.



Электропривод бурового насоса выполнен по системе ТП-Д постоянного тока, предусматривает двухзонное регулирование скорости и состоит из нереверсивных систем управления напряжением якоря $U_{\text{я}}$ и управления током $I_{\text{в}}$ и потоком Φ возбуждения двигателя. На установке БУ 2900/200 применена схема с ручным управлением возбуждения двигателя.

Управление скоростью двигателя в первой зоне, при постоянном токе возбуждения осуществляется регулятором скорости РС и тока якоря РТЯ. В качестве обратной связи по скорости используется обратная связь по ЭДС двигателя, для чего на вход РС подаются сигналы обратной связи по напряжению (отрицательной) и току (положительной). Система действует как обычная двухконтурная система однозонного регулирования скорости двигателя.

Скорость вращения ротора задаётся сельсинным командоаппаратом СК с пульта бурильщика. Выходной сигнал сельсина через согласующий трансформатор, задатчик интенсивности ЗИ и узел ограничения скорости УОС поступает на вход регулятора скорости РС.

Входная цепь РС настраивается таким образом, что номинальное значение напряжения на якоре ($U_{\text{дв}}$, ЭДС двигателя $E_{\text{дв}}$ и скорость вращения $n_{\text{дв}}$) достигаются уже при среднем положении рукоятки СК, т.е. при сигнале задания скорости $U_{\text{вх.зи}}$ равном 5В.

Дальнейший рост сигнала $U_{\text{вх.зи}}$ приводит к увеличению скорости за счет уменьшения тока возбуждения. Управление скоростью двигателя в этой зоне осуществляется по каналу возбуждения с помощью регулятора тока возбуждения РТВ.

Принцип формирования сигнала задания скорости двигателя $U_{\text{зс}}$ и тока возбуждения $U_{\text{зтв}}$ показан на рисунке 20. Сигнал задания, поступающий с выхода ЗИ, усиливается с помощью УОС с коэффициентом 2 и ограничивается на уровне 10В, что соответствует максимальной скорости двигателя в 1 зоне (примерно номинальному напряжению двигателя $U_{\text{дв н}}$). УОВ представляет собой сумматор сигналов с выходов ЗИ и УОС, причём сигнал с последнего суммируется с коэффициентом 0,5. Сигнал задания тока возбуждения $U_{\text{зтв}}$ на

входе РТВ формируется как разность постоянного сигнала задания $U_{зтвном}$, соответствующего номинальному току возбуждения $I_{вн}$, и сигнала с УОВ. На второй вход РТВ подается сигнал отрицательной обратной связи по току возбуждения.

Система управления током возбуждения действует следующим образом. В первой зоне сигнал на выходе РТВ остается постоянным и соответствующим номинальному току возбуждения. При изменении сигнала задания скорости $U_{вх зп}$ в диапазоне от 0 до 5В регулирование скорости происходит за счет увеличения напряжения двигателя $U_{дв}$ в диапазоне от 0 до номинального значения $U_{дв н}$. При этом сигнал на выходе УОВ равен 0.

Увеличение сигнала $U_{вх зп}$ от 5 до 10 В приводит к изменению на выходе УОВ напряжения в диапазоне от 0 до 5В, что приводит к уменьшению напряжения задания тока возбуждения $U_{зтв}$. После его поступления на вход РТВ это приводит к снижению тока возбуждения и к соответствующему увеличению скорости двигателя во второй зоне регулирования.

Таким образом, управление как напряжением якоря, так и возбуждением выполняется от одного органа управления - СК. Рассмотренная схема обеспечивает приблизительно линейную зависимость скорости двигателя от $U_{вх зп}$ в диапазоне от 0 до максимальной величины при ослабленном поле двигателя (рисунок 21).

Ограничение максимально допустимого тока двигателя достигается ограничением выходного напряжения регулятора скорости на уровне

$$U_{рс доп} = K_t \cdot I_{эп макс}.$$

В электроприводе насоса дополнительно может быть реализовано токоограничение в соответствии с выражением

$$U_{рс доп} (U_{дв}) = K_t \cdot I_{эп макс} (\omega_{дв}).$$

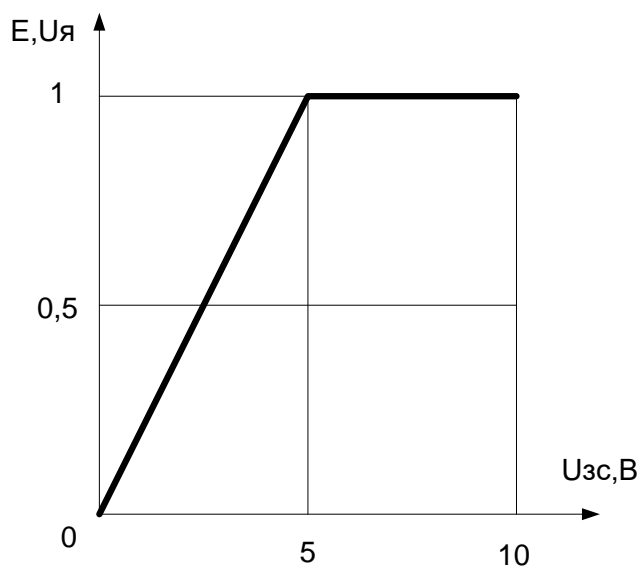
Требуемую зависимость $I_{эп макс} (\omega_{дв})$ формирует устройство ограничения тока УОТ в функции напряжения на двигателе (рисунок 21, характеристика 2).

Настройка контура тока осуществляется из условия обеспечения максимально допустимого тока $I_{\text{эп макс}} = 2700 \text{ А}$ при $U_{\text{зт макс}} = U_{\text{рс макс}} = 10 \text{ В}$.

Настройка контура скорости осуществляется из условия обеспечения скорости двигателя $n_{\text{двн}} = (500 \div 520) \text{ об/мин}$, напряжения на двигателе

$$U_{\text{дв н}} = (440 \div 460) \text{ В при } U_{\text{вх зи}} = 5 \text{ В } (U_{\text{зс}} = U_{\text{уос}} = 10 \text{ В}).$$

Контур регулирования тока возбуждения настраивается таким образом, чтобы номинальный ток возбуждения $I_{\text{вн}} = 22 \text{ А}$, достигался при $U_{\text{зтв}} = 10 \text{ В}$. Коэффициенты входной цепи РТВ для цепи от УОВ подбираются таким образом, чтобы при $U_{\text{вх зи}} = 10 \text{ В}$ минимальный ток возбуждения двигателя был бы равен $I_{\text{в мин}} \approx 7,5 \text{ А}$. Скорость двигателя при этом должна иметь значение $n_{\text{дв макс}} \approx 1000 \text{ об/мин}$, а напряжение на двигателе $U_{\text{дв}} = 440 \div 460 \text{ В}$. Темп разгона приводного двигателя насоса должен быть ограничен. Время пуска до максимальной скорости $n_{\text{дв макс}}$ не должно быть менее 4с.



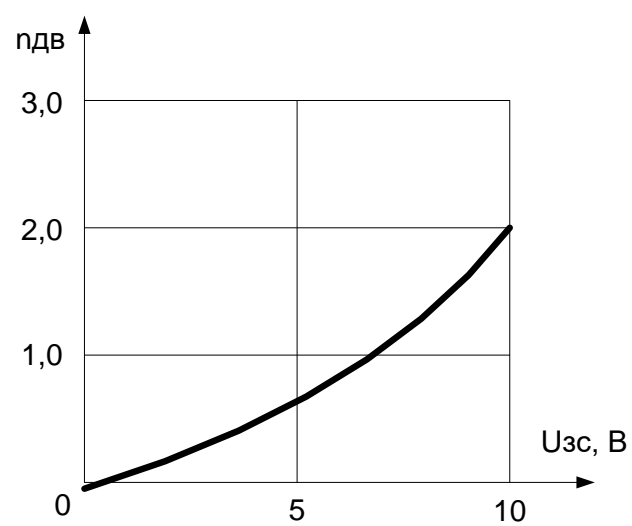
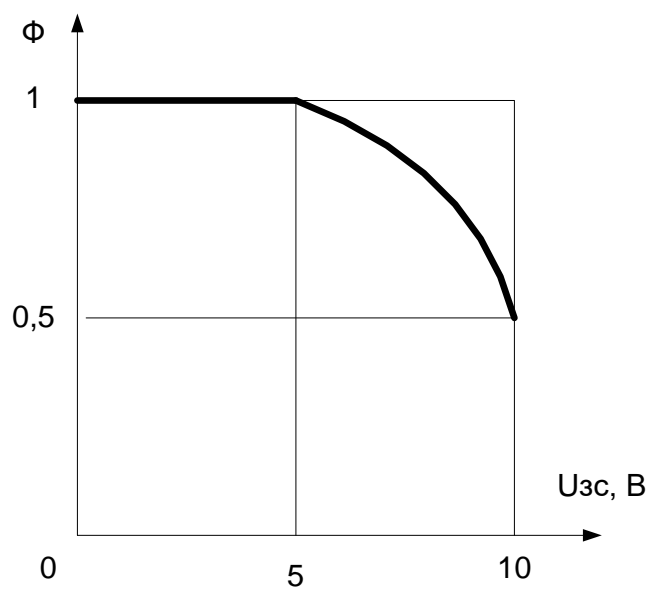
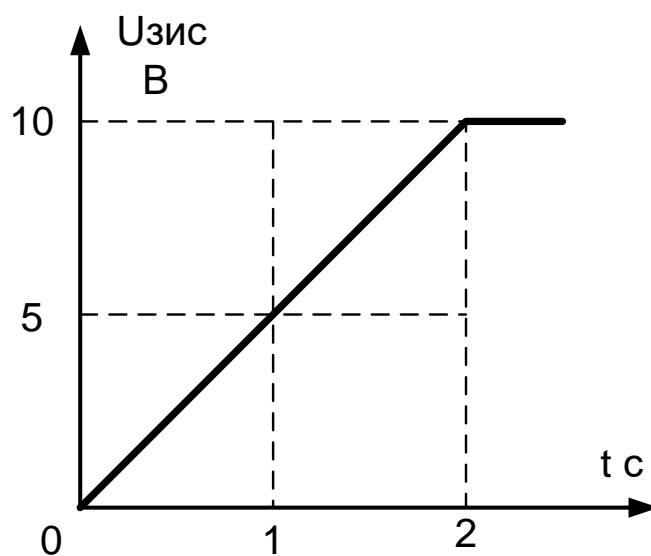


Рисунок 20 - Характеристики системы двухзонного регулирования с ручным управлением возбуждением



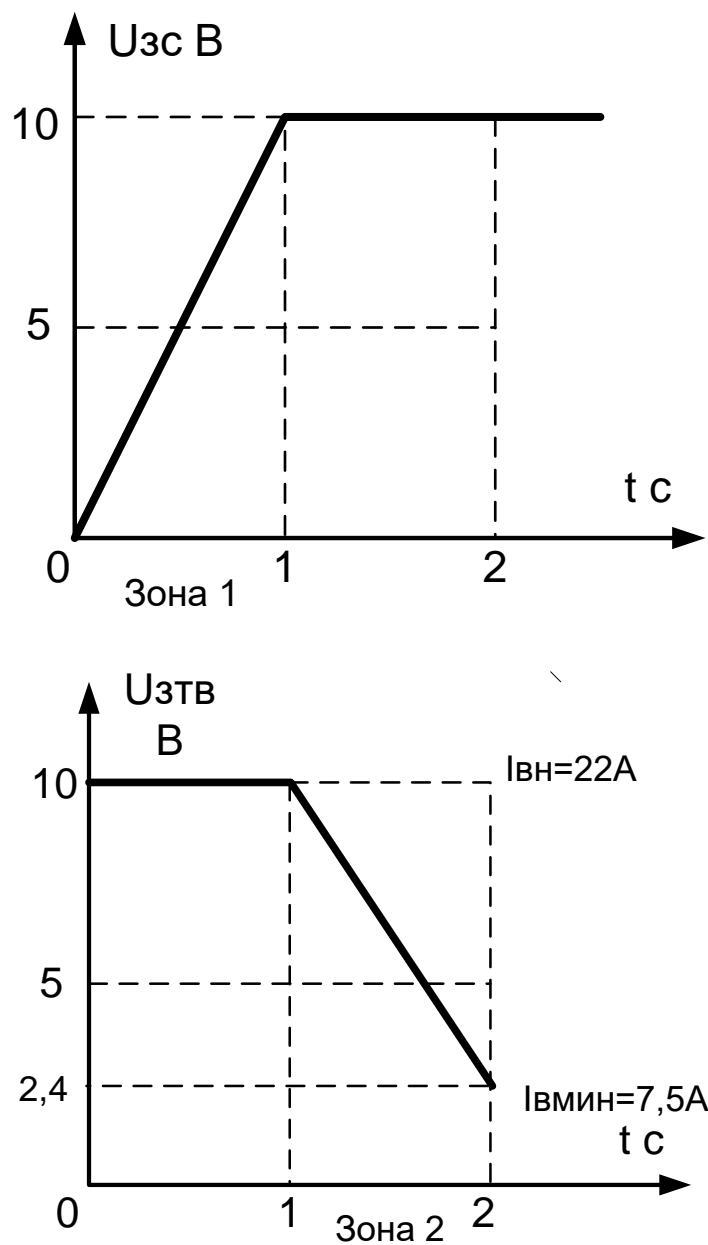


Рисунок 21 - Характеристики сигналов управления скоростью и потоком двигателя

3.2 Структурная схема САР скорости электропривода насоса

Структурная схема линеаризованной САР скорости электропривода насоса приведена на рисунке 22.

связей, обеспечивающих технически оптимальные переходные процессы.

Оптимизация проводится в два этапа:

- первый этап аналитический для линеаризованной системы регулирования;
- второй этап метод имитационного моделирования с учетом влияния ЭДС двигателя основных нелинейностей электропривода.

3.3 Оптимизация контура тока

Оптимизацию контура тока осуществляем без учета отрицательной обратной связи по ЭДС двигателя, что соответствует режиму работы с заторможенным двигателем. Структурная схема приведена на рисунке 23, где пунктирной линией показана неучтенная обратная связь по ЭДС двигателя.

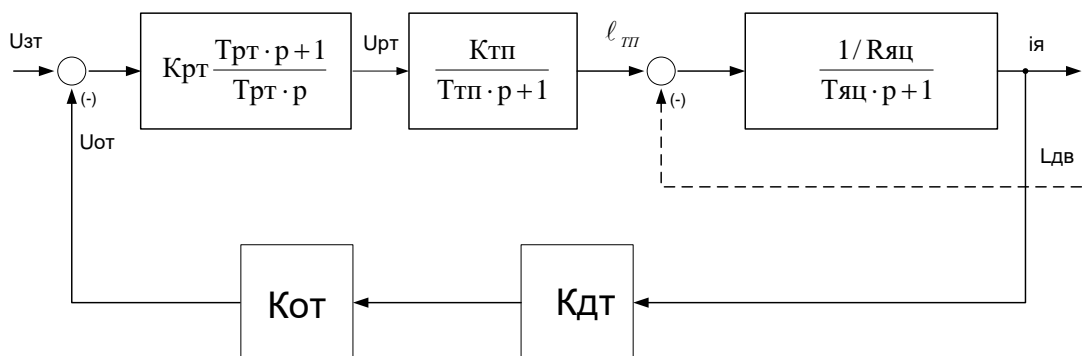


Рисунок 23 - Структурная схема контура тока

Контур содержит два инерционных звена первого порядка с постоянными времени

$$T_{яц} = 17,5 \cdot 10^{-3} \text{ с} \text{ и } T_{тп} = 0,00167 \text{ с. Отношение } T_{яц}/T_{тп} = \frac{17,5 \cdot 10^{-3}}{1,67 \cdot 10^{-3}} = 10,47$$

значительно больше единицы, следовательно принимаем:

- $T_{\mu т} = T_{тп} = 0,00167 \text{ с}$ –малая постоянная времени контура;
- $T_{яц} = 0,0175 \text{ с}$ - большая постоянная контура, которую следует компенсировать.

Контур тока настраиваем на модульный оптимум (МО). С учетом параметров контура выбираем ПИ- регулятор с передаточной функцией

$$W(p)_{PT} = K_{PT} \cdot \frac{T_{PT} \cdot p + 1}{T_{PT} \cdot p},$$

где $T_{PT} = T_{яц} = 0,0175$ с - постоянная времени регулятора.

$$K_{PT} = \frac{R_{яц} \cdot T_{яц}}{K_{ТП} \cdot K_T \cdot a_T \cdot T_{\mu m}} = \frac{0,0175 \cdot 0,02986}{101,99 \cdot 0,0625 \cdot 2 \cdot 0,00167} = 0,24544$$

- коэффициент усиления регулятора

$$\text{где } K_{mn} = \frac{\pi \cdot E_{d0}}{U_{ynmax}} \cdot \frac{\alpha_{нач} - \alpha_{мин}}{10} = \frac{3,14 \cdot 512,6}{10} \cdot \frac{120 - 6}{10} = 101,99 \text{ -коэф-}$$

фициент усиления тиристорного преобразователя,

$$K_T = \frac{U_{зтmax}}{I_{эпmax}} = \frac{10}{1600} = 0,00625 \text{ В/А - коэффициент обратной связи по току,}$$

$a_T = 2$ - коэффициент оптимизации контура тока по МО.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТ

$$K_{OT} = \frac{K_T}{K_{ДТ}} = \frac{0,00625}{0,00625} = 1.$$

Влияние ЭДС двигателя на работу контура тока оценивается отношением постоянных времени

$$\frac{T_M}{T_{яц}} = \frac{23,50 \cdot 10^{-3}}{17,5 \cdot 10^{-3}} = 1,3428.$$

Передаточная функция разомкнутого контура тока

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{Траз}} &= \frac{1}{a_T \cdot T_{\mu m} \cdot p(T_{\mu m} \cdot p + 1)} = \frac{1}{2 \cdot 0,00167^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,00167 \cdot p} = \\ &= \frac{1}{5,57 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,00334 \cdot p}. \end{aligned}$$

Передаточная функция замкнутого контура тока

$$\begin{aligned} W(p)_{\text{Траз}} &= \frac{1 / K_T}{a_T \cdot T_{\mu m} \cdot p(T_{\mu m} \cdot p + 1) + 1} = \frac{1 / K_T}{a_T \cdot T_{\mu m}^2 \cdot p^2 + a_T T_{\mu m} \cdot p + 1} = \\ &= \frac{160}{5,57 \cdot 10^{-6} \cdot p^2 + 0,0034 p + 1}. \end{aligned}$$

Ожидаемые показатели работы замкнутого контура тока:

$\delta = 4,3\%$ - перерегулирование,

$t_{py1}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu m} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$ - время первого согласования,с;

$t_{py2}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu m} = 4,1 \cdot 0,00167 = 0,006847$ - время переходного процесса

при обработке ступенчатого управляющего задания,с;

$\omega_{\Pi}^{(M)} = \omega_{\Pi}^{\Phi} = 0,71 / T_{\mu T} = 0,71 / 0,00167 = 425,15$ рад/с – полоса пропуска-

ния по модулю и фазе или

$$f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = \frac{425,15}{2 \cdot 3,14} = 67,7 \text{ Гц.}$$

$\Delta I_{y,уст} = 0$ - установившаяся ошибка отработки входного воздействия.

3.4 Оптимизация контура ЭДС двигателя

Структурная схема контура ЭДС приведена на рисунке 24.

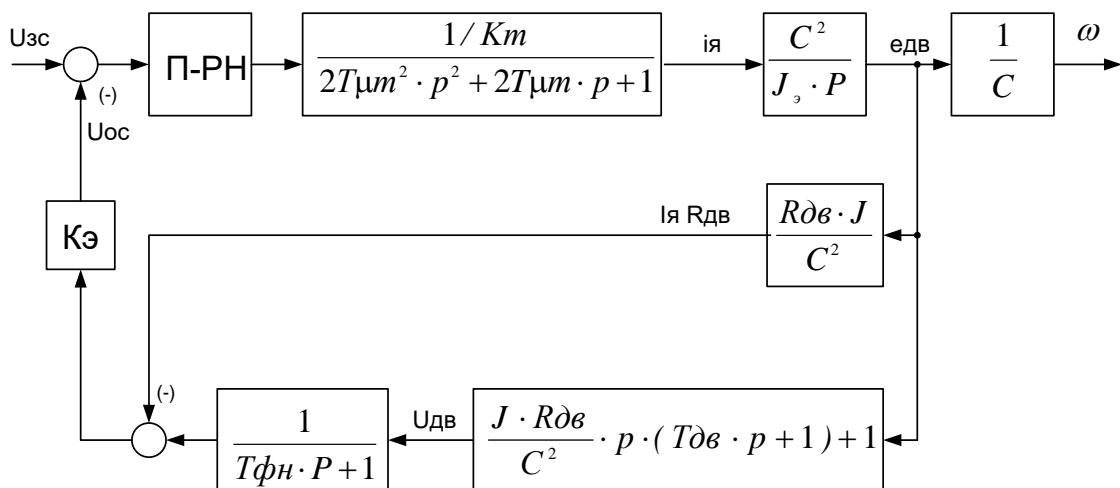


Рисунок 24 - Структурная схема контура ЭДС

Контур имеет два варианта реализации: с сглаживающим фильтром в цепи обратной связи по напряжению (с постоянной времени фильтра $T_{\phi n}$) и без фильтра. Оптимизация контура по МО достигается при выборе пропорционального регулятора ЭДС (П – РЭ) с коэффициентом усиления

$$K_{pэ} = \frac{J \cdot K_m}{K_{oc} \cdot C^2 \cdot T_{оэ}},$$

где
$$Kэ = \frac{U_{змакс}}{E_{двн}} = \frac{10}{417,3} = 0,024$$

- коэффициент обратной связи по ЭДС двигателя;

$$E_{двн} = C \cdot \omega_{двн} = 7,97 \cdot 52,36 = 419,8 \text{ В}$$

- номинальное значение ЭДС двигателя;

$Tэ$ - эквивалентная постоянная времени контура, с.

Вариант $T_{фн}=0$

$$Tэ = 2 \cdot T_{μэ} = 2 \cdot 0,015225 = 0,03045 \text{ с},$$

где
$$T_{μэ} = T_{μт} + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4 \cdot T_{μт}^2 + 2 \cdot T_{дв} \cdot \frac{Jэ \cdot R_{двгор}}{C^2}} =$$

$$= 0,00167 + \frac{1}{2} \cdot \sqrt{4 \cdot 0,00167^2 + 2 \cdot 0,0277 \cdot \frac{50 \cdot 0,0166}{7,97^2}} = 0,015225 \text{ с},$$

тогда
$$K_{pэ} = \frac{J \cdot K_m}{K_{oc} \cdot C^2 \cdot T_{оэ}} = \frac{50 \cdot 0,00625}{0,024 \cdot 7,973^2 \cdot 0,03045} = 6,732.$$

Вариант $T_{фн}=T_{дв}=0,085 \text{ с}$.

$$Tэ = 2T_{μэ} + T_{дв} = 2 \cdot 0,08632 + 0,0277 = 0,2 \text{ с},$$

где
$$T_{μэ} = T_{μт} + 0,5 \sqrt{(2 \cdot T_{μт} + T_{дв})^2 + T_{дв}^2} =$$

$$= 0,00167 + 0,5 \sqrt{(2 \cdot 0,00167 + 0,0277)^2 + 0,0277^2} = 0,08632 \text{ с},$$

тогда
$$K_{pэ} = \frac{J \cdot K_m}{K_{оэ} \cdot C^2 \cdot T_{оэ}} = \frac{50 \cdot 0,00625}{0,024 \cdot 7,97^2 \cdot 0,2} = 1,24.$$

Для настройки контура принимаем вариант с большим значением $K_{pэ}=6,732$ при $T_{фн}=0$ с. В этом случае на входе контура ЭДС сглаживающий фильтр не устанавливается.

Определим отношение

$$\frac{T_{\mu\mathcal{E}}}{2 \cdot T_{\mu T}} = \frac{0,015225}{2 \cdot 0,00167} = 4,56.$$

При отношении >1 передаточная функция замкнутого контура, записанная для скорости вращения двигателя ω как входной координаты, имеет вид

$$W(p)_{\text{сззам}} = \frac{\omega(p)}{U_{\text{зс}}(p)} = \frac{\frac{1}{K_{\mathcal{E}} \cdot C}}{2T_{\mu\mathcal{E}}^2 \cdot p^2 + 2 \cdot T_{\mu\mathcal{E}} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{\frac{1}{0,024 \cdot 7,97}}{2 \cdot 0,0152^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,0152 p + 1} = \frac{5,228}{0,000462 p^2 + 0,0204 p + 1}.$$

Ожидаемые показатели работы контура:

$\delta = 4,3\%$ - перерегулирование,

$t_{\text{pyl}}^{(5)} = t_{\text{py}}^{(5)} = 4,1 \cdot T_{\mu\mathcal{E}} = 4,1 \cdot 0,0152 = 0,06232$ с – время первого вхождения 5% зону и время переходного процесса при отработке ступенчатого входного воздействия;

$$\omega_{\Pi}^{(\Phi)} = \omega_{\Pi}^{(\text{м})} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu\mathcal{E}}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,0152} = 46,52 \text{ рад/с}$$

или $f_{\Pi} = \frac{\omega_{\Pi}}{2\pi} = \frac{46,52}{2 \cdot 3,14} = 7,53$ Гц – полоса пропускания по фазе и модулю;

$$\Delta\omega_{\text{в уст}} = \frac{T_{\mathcal{E}} \cdot \Delta M_C}{J_{\mathcal{E}}} = \frac{0,03045 \cdot 6641,2}{50} = 4,04 \text{ рад/с} - \text{установившееся}$$

значение провала или всплеска угловой скорости вращения двигателя при набросе или сбросе нагрузки $\Delta M_C = M_{\text{двн}} = 2984,72$ Н•м.

Коэффициенты передачи входных цепей регулятора ЭДС (см. рисунок):

$$K_{\text{ОН}} = \frac{K_{\mathcal{E}}}{K_{\text{дн}}} = \frac{0,024}{0,02} = 1,2$$

- отрицательной обратной связи по напряжению;

$$K_{\text{ОТ}} = R_{\text{двгор}} \frac{R_{\text{дн}}}{K_{\text{дтя}}} \cdot K_{\text{ОН}} = 0,0166 \cdot \frac{0,02}{0,00333} \cdot 1,2 = 0,12$$

- положительной обратной связи по току.

С использованием прикладной программы Матлаб рассчитаны логарифмические частотные характеристики (ЛЧХ) контура (рисунок 25).

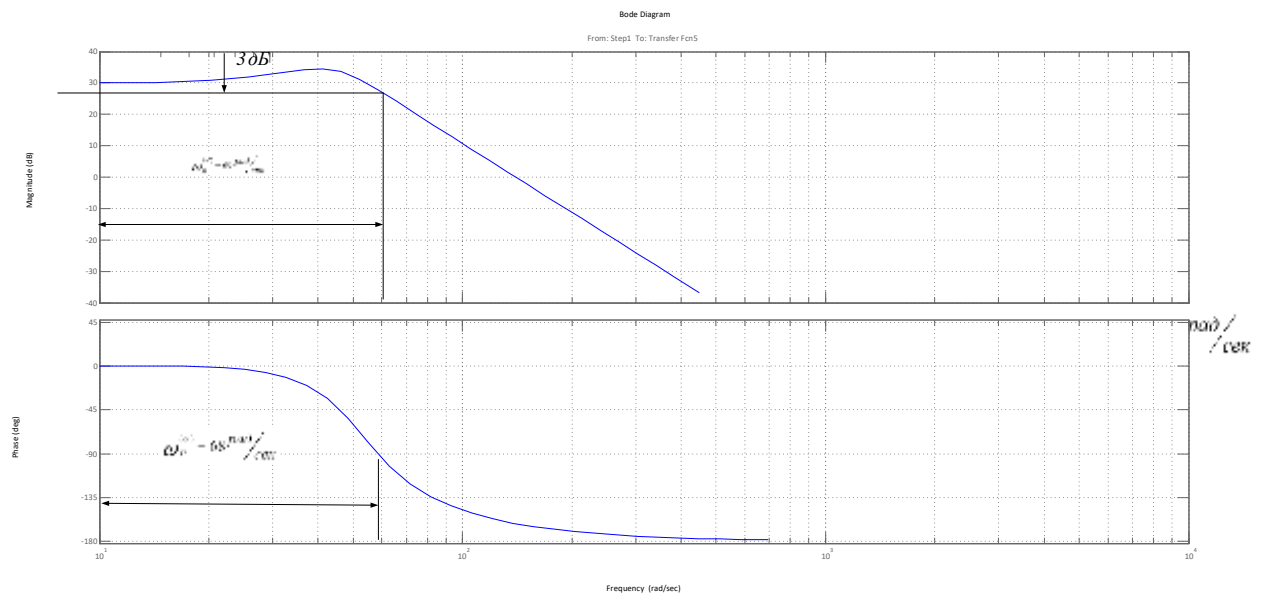


Рисунок 25 – ЛЧХ замкнутого контура ЭДС

По частотным характеристикам определили полосу пропускания контура по модулю и фазе

$$\omega_i^{(i)} = \omega_i^{(\phi)} = 10^{1,8} = 63,09 \text{ рад/с}$$

или

$$f_i^{(i)} = \omega_i^{(\phi)} = \frac{\omega_i}{2\pi} = \frac{63,09}{2 \cdot 3,14} = 10,04 \text{ Гц.}$$

Полученные результаты хорошо совпадают с ожидаемыми показателями.

3.5 Структурная схема САР потока возбуждения двигателя

Структурная схема САР потока возбуждения двигателя приведена на рисунке 26. На схеме приняты следующие обозначения:

РТВ – регулятор тока возбуждения двигателя;

Котв – коэффициент передачи входной цепи регулятора обратной связи регулятора тока;

Узтв – фактическое значение напряжения задания тока возбуждения.

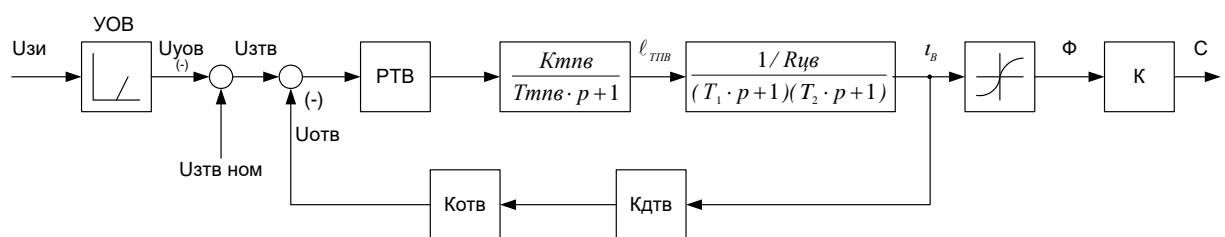


Рисунок 26 - Структурная схема САР потока возбуждения электродвигателя привода насоса

САР потока возбуждения двигателя представляет собой одноконтурную систему регулирования тока возбуждения. Задание на ток возбуждения на входе контура формируется в зависимости от положения сельсинного командоаппарата СК. Контур тока возбуждения стабилизирует ток возбуждения двигателя при колебаниях напряжения сети и ослабляет поток двигателя при $U_{зи} > 5В$.

3.6 Оптимизация контура тока возбуждения двигателя

Структурная схема контура тока возбуждения приведена на рисунке 27.

Контур содержит три инерционных звена первого порядка (апериодических) при следующих соотношениях постоянных времени

$$T_1 \gg (T_{ТПВ} + T_2).$$

Поэтому за малую постоянную времени примем $T_{\mu TT} = (T_{ТПВ} + T_2) =$

$= (0,00167 + 0,007262) = 0,008932 \text{ н.с.}$, $T_1 = 0,797837 \text{ с.}$ будем считать большой постоянной времени контура.

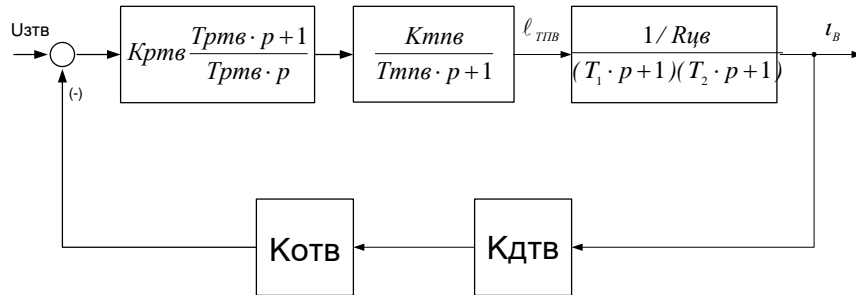


Рисунок 27 - Структурная схема контура тока возбуждения двигателя

Оптимизация контура по МО достигается при выборе ПИ- РТВ с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{РТВ}} = K_{\text{РТВ}} \frac{T_{\text{РТВ}} \cdot p + 1}{T_{\text{РТВ}} \cdot p},$$

$$\text{где } K_{\text{РТВ}} = \frac{R_{\text{цв}} \cdot T_1}{K_{\text{ТПВ}} \cdot K_{\text{ТВ}} \cdot a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\text{мтв}}} = \frac{7,865 \cdot 0,7978}{71,52 \cdot 0,4545 \cdot 2 \cdot 0,248} = 0,389$$

- коэффициент усиления регулятора;

$$T_{\text{РТВ}} = T_1 = 0,7978 \text{ с}$$

- постоянная времени регулятора;

$$K_{\text{ТВ}} = \frac{U_{\text{зтвмакс}}}{I_{\text{вмакс}}} = \frac{10}{22} = 0,4545 \text{ В/А}$$

- коэффициент обратной связи по току возбуждения;

$a_{\text{ТВ}} = 2$ - коэффициент оптимизации контура по МО.

Коэффициент передачи входной цепи обратной связи РТВ

$$K_{\text{отв}} = \frac{K_{\text{ТВ}}}{K_{\text{дтв}}} = \frac{0,4545}{0,333} = 1,353.$$

Передаточная функция замкнутого контура тока возбуждения

$$W(p)_{\text{ТВзам}} = \frac{1 / K_{\text{мв}}}{a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\text{мтв}}^2 \cdot p^2 + a_{\text{ТВ}} \cdot T_{\text{мтв}} \cdot p + 1} =$$

$$= \frac{1/0,45}{2 \cdot 0,012262^2 \cdot p^2 + 2 \cdot 0,012262 \cdot p + 1} = \frac{2,222}{0,0003 \cdot P^2 + 0,0245 \cdot p + 1}$$

Показатели качества работы контура:

$\delta = 4,3\%$ - перерегулирование;

$t^{(5)}_{py1} = t^{(5)}_{py2} = 4,1 \cdot T_{\mu tv} = 4,1 \cdot 0,012262 = 0,05$ с – время переходного процесса;

$$\omega^{(i)}_{\Pi} = \omega^{(i)} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot T_{\mu tv}} = \frac{1}{\sqrt{2} \cdot 0,012262} = 57,667 \text{ рад/с или}$$

$$f_{\Pi} = \frac{\omega_i}{2\pi} = \frac{57,667}{2 \cdot 3,14} = 9,18 \text{ Гц} - \text{полоса пропускания};$$

$\Delta I_{\text{онд}} = 0$ - установившаяся ошибка отработки заданного значения тока возбуждения.

4 ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ САУ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСА

4.1 Структурная схема нелинейной САУ ЭП насоса

Основными нелинейностями САУ электропривода насоса являются:

- насыщение регуляторов ЭДС и тока

$$U_{PЭ \text{ МАКС}} = \pm 10 \text{ В}; U_{PT \text{ МАКС}} = \pm 10 \text{ В};$$

- постоянное по величине ограничение тока двигателя в переходных режимах, которое достигается ограничением выходного напряжения регулятора напряжения на уровне

$$U_{PH \text{ ДОП}} = U_{ТО} = K_T \cdot I_{ЭП \text{ МАКС}} = 0,00625 \cdot 1600 = 10 \text{ В};$$

- насыщение тиристорного преобразователя, соответствующее минимальному углу управления $\alpha_{\text{МИН}} = 10^\circ$

$$E_{ТПЯ \text{ МАКС}} = E_{d0} \cdot \cos \alpha_{\text{ief}} = 512,6 \cdot \cos 10^\circ = 504,8 \text{ В};$$

- насыщение тиристорного возбудителя

$$E_{ТПВ \text{ макс}} = \frac{E_{d0B}}{2} (1 + \cos \alpha_{\text{МИН}}) = \frac{342}{2} (1 + \cos 30^\circ) = 319 \text{ В};$$

- основным нелинейным элементом электропривода является нереверсивный тиристорный преобразователь, который имеет одностороннюю проводимость групп вентилях, дискретный характер управления, нелинейную регулировочную характеристику.

При моделировании дискретного тиристорного преобразователя должны быть введены следующие параметры:

$m_B = 6$ – число коммутаций в схеме за один период;

$e_{2m} = \sqrt{2} \cdot \dot{A}_{2E} = \sqrt{2} \cdot 380 = 537,4 \text{ В}$ – амплитуда питающего напряжения преобразователя;

$K_{yO} = \frac{\alpha_{HAY} - \alpha_{MHH}}{180^\circ} = \frac{120^\circ - 10^\circ}{180^\circ} = 0,611$ - коэффициент управляющего органа

на входе СИФУ;

$\alpha_{MHH} = 6^\circ$ - минимальный угол управления;

$\alpha_{HAY} = 120^\circ$ - начальный угол управления;

$\alpha_{MAKc} = 150^\circ$ - максимальный угол управление преобразователем;

- форма опорного напряжения линейная с амплитудой размаха напряжения $2U_{OP\ MAKc} = 10 \text{ В}$.

Структурная схема нелинейной САУ электропривода насоса приведена на рисунке 23.

Расчетные и экспериментальные (отмеченные *) параметры звеньев структурной схемы электропривода приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Параметры нелинейной САУ электропривода механизма насоса

U_{3C} В	T_{3IC} , с	U_{3IC} , В	$T_{\Phi 2,*}$ с	K_{PE}	U_{PTMAKc} В	$U_{PHDOП}$ В	$K_{дн}$
10	≥ 4	10	0,0366	6,732	± 10	10	0,02
K_{OT1}	K_{OH}	$T_{\Phi H,*}$ с	$T_{H1,*}$ с	$T_{H2,*}$ с	K_{PT}	T_{PT} , с	U_{PTMAKc} , В
0,12	1,2	0,0366	0,03	0,002	0,254	0,0175	± 10

$K_{ДТЯ},$ В/А	$K_{ОТ}$	$K_{ТПЯ},$	$T_{ТПЯ},$ с	$E_{ТПЯ\max}$, В	$R_{ЯЦ},$ Ом	$T_{ЯЦ},$ с	$L_{ЯЦ},$ Гн
0,0033	1	98,4	0,00167	504,8	0,02983	0,0175	0,000524
$R_{ДВ},$ Ом	$T_{ДВ},$ с	$L_{ДВ},$ Гн	C	$J_{Э},$ Кг•м ²	$M_{С},$ Н•м	$M_{СПОЛ},$ Н•м	
0,01255	0,0366	0,00046	7,97	46 ÷ 50	1019,2	5250,9	
$U_{ЗТВН},$ В	$K_{РТВ}$	$T_{РТВ},$ В	$K_{ТПВ}$	$T_{ТПВ},$ с	$E_{ТПВ\max}$, В	$R_{ЦВ},$ Ом	$T_{В},$ с
10	0,4545	0,7978	71,5	0,005	319	7,865	0,651
E_{d0} В	$K_{ДТВ}$	$K_{ОТВ}$	K				
512,6	0,333	1,538	126,7				

Параметры нереверсивного дискретного тиристорного преобразователя якоря.

Таблица 5 - Параметры нереверсивного дискретного ТПЯ

$K_{ТПЯ}$	$m_{В}$	$e_{2m},$ В	СИФУ	$K_{УО}$	$2U_{ОП\max}$	$\alpha_{i\hat{e}l}$, град
98,4	6	537	ЛИН	0,611	10	6
$\alpha_{i\hat{A}\hat{E}\hat{N}}$, град	$\alpha_{i\hat{A}\times}$, град	$\varphi_{i\hat{A}\times}$, град	АУТП	ПОС	$U_{РЭДОП},$ В	
150	120	150	нет	Нет	10	

4.2 Настройка САУ электропривода на имитационной модели

Для обеспечения работоспособности контура ЭДС с учетом пульсации выпрямленного напряжения тиристорного преобразователя в цепи обратной связи по напряжению установлен сглаживающий фильтр с постоянной времени $T_{ФН} = T_{ДВ} = 0,0366$ с. Для оптимизации переходных процессов в электроприводе при отработке управляющих воздействий на входе электропривода установлен сглаживающий фильтр с постоянной времени $T_{Ф2} = T_{ФН} = 0,0366$ с.

С целью увеличения диапазона регулирования скорости электропривода увеличен коэффициент усиления регулятора ЭДС. Для этого в цепь обратной связи по напряжению введена производная по напряжению двигателя. Реализуется это установкой интегродифференцирующего звена с передаточной функцией

$$W(p)_{\text{ФН}} = \frac{T_{H1} \cdot p + 1}{T_{H2} \cdot p + 1}.$$

Экспериментально подобраны следующие значения параметров:

$T_{H1} = 0,03\text{с}$, $T_{H2} = 0,02\text{с}$, $K_{РЭ} = 6 \div 8$.

На входе электропривода установлен задатчик скорости ЗИС, обеспечивающий постоянный темп разгона и торможения при остановке электропривода. Постоянная времени ЗИС по технологии $T_{\text{ЗИС}} \geq 4\text{с}$.

4.3 Исследование САУ электропривода на имитационной модели

Цель исследований – проверка работоспособности электропривода во всех основных технологических режимах работы.

Исследования сводились к проверке работы САУ электропривода в следующих режимах:

- пуск привода при разных значениях управления и нагрузки;
- наброс нагрузки вплоть до режима стопорения;
- внезапного стопорения;
- торможение электропривода до меньшей скорости, до полной остановки.

Результаты исследований на имитационной модели приведены на рисунках 28 ÷ 30. Обработка переходных процессов показала, что САУ электропривода полностью отвечает предъявленным требованиям.

Переходные процессы практически всегда имеют апериодический характер (перерегулирование $\delta = 3\%$). Время переходного процесса полностью определяется постоянной задатчика интенсивности.

Торможение электропривода под нагрузкой – управляемое (см. рис.

31)

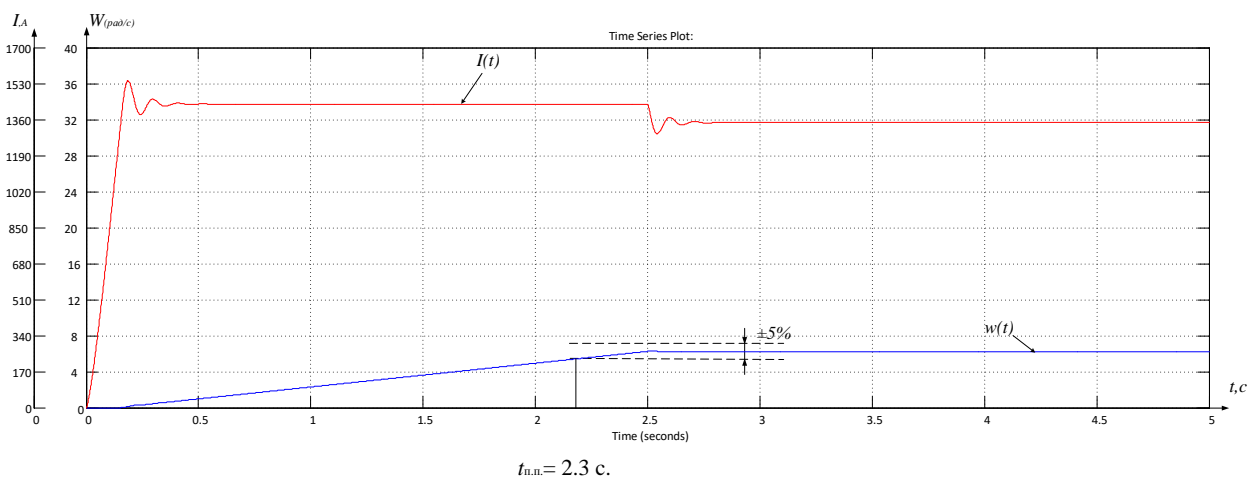


Рисунок 28 – Пуск электропривода при $U_{зс} = 1$ В и $M_c = 6270$ Н•м

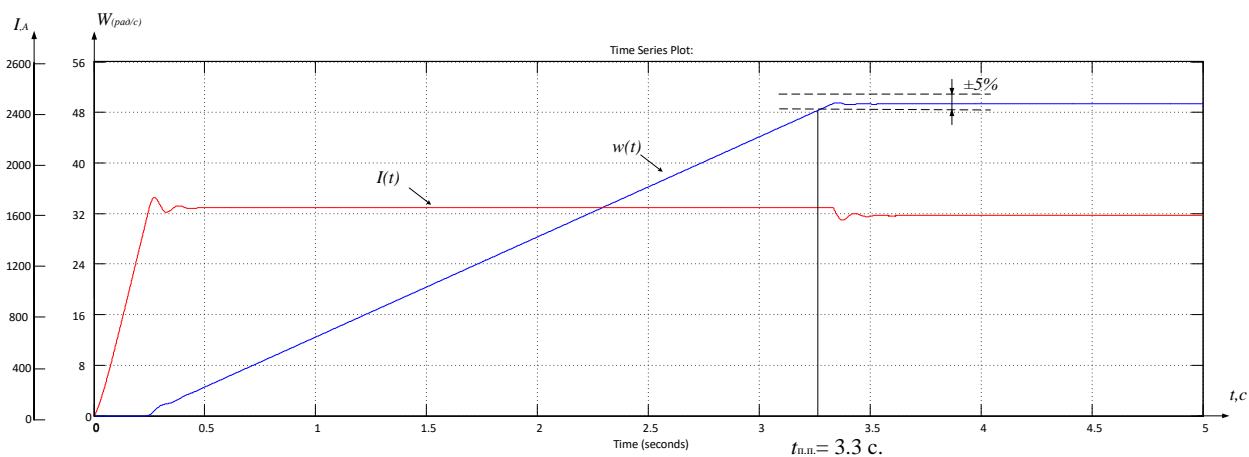


Рисунок 29 – Пуск электропривода при $U_{зс} = 10$ В и $M_c = 6270$ Н•м

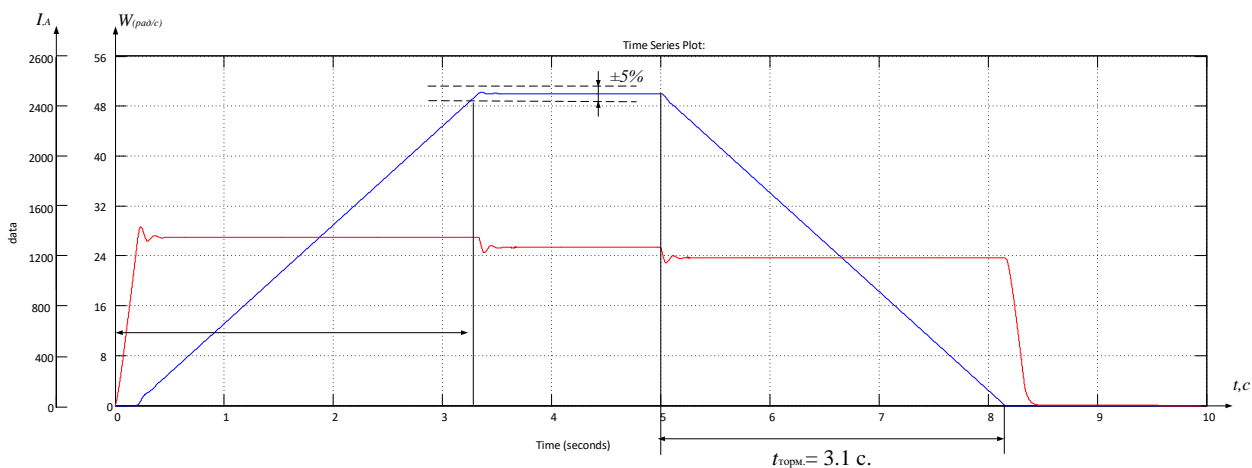


Рисунок 30 – Пуск и торможение электропривода при $U_{зс} = 10$ В и $M_c = 6270$ Н•м

4.4 Расчет статических характеристик электропривода

Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости (ЭДС) приведена на рисунке 31.

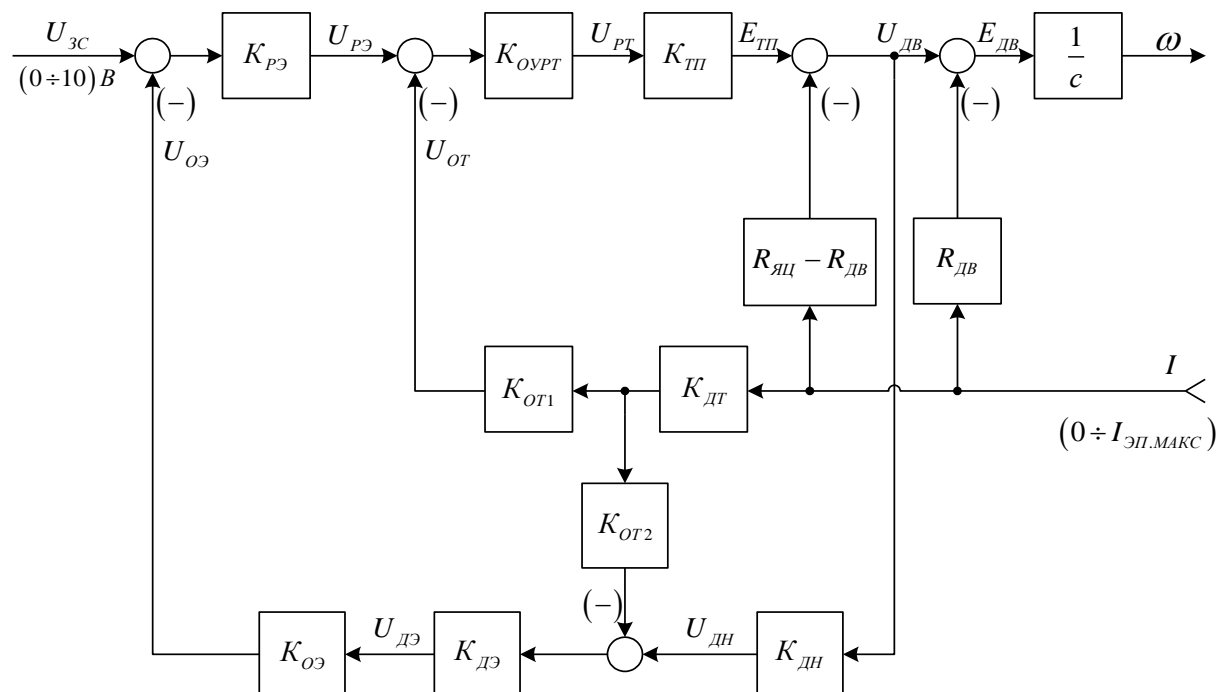


Рисунок 31 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Если настройка контуров выполнена в соответствии с изложенной ранее методикой, то схема рисунка 36 упрощается и принимает вид, приведённый на рисунке 32.

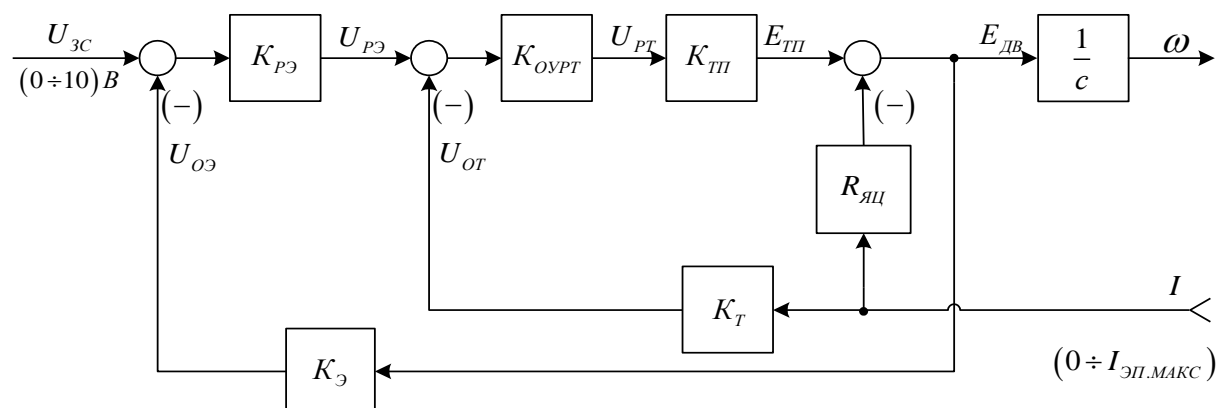


Рисунок 32 – Преобразованная структурная схема электропривода для режима стабилизации скорости

Схема рисунка 32 описывается следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned}U_{PЭ} &= K_{PЭ}(U_{ЗС} - U_{ОЭ}); \\U_{ОЭ} &= K_{Э} \cdot E_{ДВ}; \\U_{РТ} &= K_{ОУ.РТ} \cdot (U_{PЭ} - K_{Т} \cdot I); \\E_{ТП} &= K_{ТП} \cdot U_{РТ}; \\E_{ДВ} &= E_{ТП} - R_{ЯЦ} \cdot I; \\\omega &= \frac{E_{ДВ}}{k \cdot \Phi},\end{aligned}$$

где $k_{ОУРТ} = 1 \cdot 10^4$ – коэффициент усиления операционного усилителя, на котором реализован ПИ – РТ.

Решив систему уравнений, относительно ω найдём уравнение для статической (электромеханической) характеристики привода $\omega(I)$ в режиме стабилизации скорости

$$\omega(I) = \frac{K_{ТП} \cdot K_{ОУ.РТ} \cdot K_{PЭ}}{1 + K_{ТП} \cdot K_{ОУ.РТ} \cdot K_{PЭ} \cdot K_{Э}} \cdot \frac{U_{ЗС}}{k \cdot \Phi} - \frac{R_{ЯЦ} \cdot I}{k \cdot \Phi} \cdot \frac{1 + \frac{K_{ТП} \cdot K_{ОУ.РТ} \cdot K_{Т}}{R_{ЯЦ}}}{1 + K_{ТП} \cdot K_{ОУ.РТ} \cdot K_{PЭ} \cdot K_{Э}}.$$

Подставив численные значения получим при $\Phi_{двн}$

$$\begin{aligned}\omega(I) &= \frac{98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 8}{1 + 98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 0,024} \cdot \frac{U_{ЗС}}{7,97} - \frac{0,02983 \cdot I}{7,97} \cdot \frac{1 + \frac{98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 0,00625}{0,02983}}{1 + 98,4 \cdot 1 \cdot 10^4 \cdot 8 \cdot 0,024} = \\&= \omega_0(U_{ЗС}) - \Delta\omega(I) = 52,28U_{ЗС} - 4,084 \cdot 10^{-3} I.\end{aligned}$$

Погрешность скорости электропривода при изменении нагрузки в % определяется по выражению

$$\Delta n = \frac{\omega_0(U_{ЗС}) - \omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{ЗС}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\% = \frac{\Delta\omega(I_{ДВ.Н})}{\omega_0(U_{ЗС}) + \omega(I_{ДВ.Н})} \cdot 100\%$$

Задаваясь рядом значений тока I , по полученным выражениям рассчитываем статические характеристики привода $\omega(I)$ для нескольких значений $U_{ЗС}$. Расчёты сводим в таблицу 6.

Таблица 6 - Статические характеристики привода

$U_{3C}, В$	$\omega, \text{рад}/\text{с}$			$\Delta H, \%$
	$I = 0 \text{ А}$	$I_{\text{дв.н}} = 94 \text{ А}$	$I_{\text{эл.макс}} = 187 \text{ А}$	
10***	104,56	93,37	91,49	5,65
8**	83,648	74,696	73,209	5,65
5*	52,28	46,685	45,745	5,65
2,5*	26,14	20,545	19,605	12,0
1*	10,456	4,861	3,921	36,5

*- $\Phi_{\text{двн}} = 0,11 \text{ Вб}$; **- $\Phi_{\text{дв}} = 0,06875 \text{ Вб}$; ***- $\Phi_{\text{дв мин}} = 0,055 \text{ Вб}$.

При увеличении нагрузки скорость двигателя уменьшается, и напряжение регулятора ЭДС увеличивается. Как только регулятор ЭДС входит в насыщение, отрицательная обратная связь по ЭДС отключается и переходит в режим стабилизации тока. Структурная схема электропривода для этого режима приведена на рисунке 37.

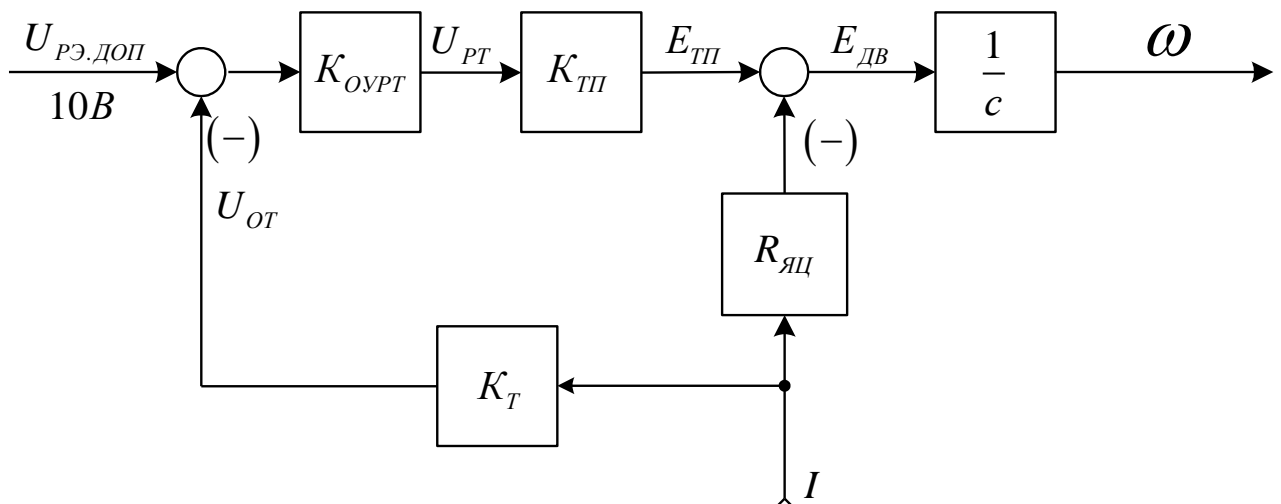


Рисунок 33 – Структурная схема электропривода для режима стабилизации тока

Схема рисунка 33 описывается следующей системой уравнений:

$$U_{РТ} = (U_{РЭ.ДОП} - U_{ОТ}) \cdot K_{ОУ.РТ};$$

$$U_{OT} = K_T \cdot I ;$$

$$E_{ТП} = K_{ТП} \cdot U_{PT} ;$$

$$I = \frac{E_{ТП} - E_{ДВ}}{R_{ЯЦ}} ;$$

$$E_{ДВ} = C \cdot \omega .$$

Из совместного решения системы уравнений найдем выражение для статической характеристики электропривода в режиме стабилизации тока

$$I(\omega) = \frac{K_{ОУ.РТ} \cdot K_{ТП}}{R_{ЯЦ} + K_{ОУ.РТ} \cdot K_{ТП} \cdot K_T} \cdot U_{РЭ.ДОП} - \frac{C \cdot \omega}{R_{ЯЦ} + K_{ТП} \cdot K_{ОУ.РТ} \cdot K_T}$$

После подстановки численных значений получим при $\Phi_{двн}$

$$I(\omega) = \frac{1 \cdot 10^4 \cdot 98,4}{0,02983 + 1 \cdot 10^4 \cdot 98,4 \cdot 0,00625} \cdot U_{РЭ.ДОП} - \frac{7,97 \cdot \omega}{0,02983 + 1 \cdot 10^4 \cdot 98,4 \cdot 0,00625} =$$

$$= I(\omega = 0) - \Delta I(\omega) = 160 \cdot U_{РЭ.ДОП} - 0,001296 \omega .$$

Задаваясь рядом значений ω рассчитываем статическую характеристику привода в режиме стабилизации тока $I(\omega)$. Результаты расчёта приведены в таблицу 7.

Таблица 7 - Статическая характеристика привода в режиме стабилизации тока $I(\omega)$

$\omega, \text{рад}/\text{с}$	0	52,28	104,56
$I, \text{А}$	1600	1599,93	1599,86

Электромеханические характеристики электропривода приведены на рисунке 34.

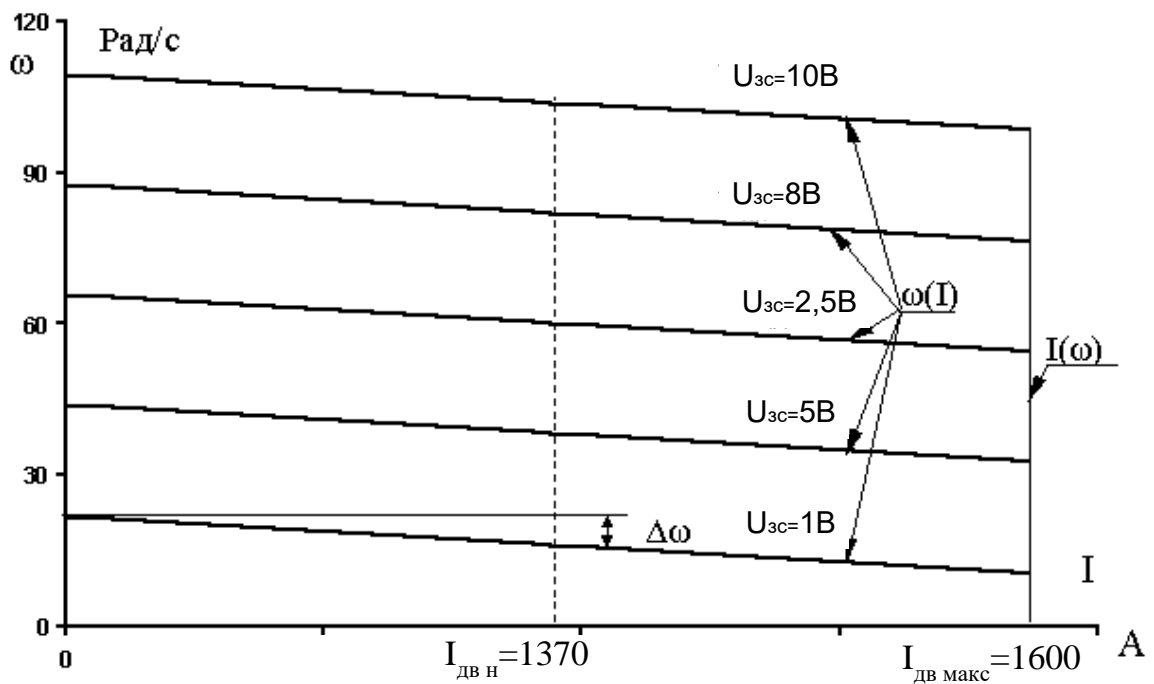


Рисунок 34 – Статические характеристики привода при $K_{pэ} = 8$

Из полученных результатов следует, что в режиме стабилизации скорости электропривод имеет мягкие характеристики, а в режиме стабилизации тока электропривод точно удерживает заданный максимальный ток 1600А. Жесткость характеристик электропривода при необходимости может быть повышена путем увеличения коэффициента усиления регулятора ЭДС при настройке.

Условие выбора значения коэффициента усиления РЭ, при котором жесткость характеристик замкнутой системы будет выше, чем жесткость разомкнутой системы ТП-Д определяется выражением.

$$K_{pэ} > \frac{K_{\tau}}{K_{э} \cdot R_{яц}} = \frac{0,00625}{0,024 \cdot 0,02983} = 8,69.$$

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «ФИНАНСОВЫЙ МЕНЕДЖМЕНТ, РЕСУРСОЭФФЕКТИВНОСТЬ И РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЕ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5Б1	Чернышову Денису Александровичу

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	ОЭЭ
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Исходные данные к разделу «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение»:

1. Стоимость ресурсов проектной работы: материально-технических, энергетических, финансовых, информационных и человеческих	Стоимость материальных ресурсов и специального оборудования определены в соответствии с рыночными ценами г. Томска. Тарифные ставки исполнителей определены штатным расписанием НИ ТПУ.
2. Нормы и нормативы расходования ресурсов	-30 % премии; 20 % надбавки; 16 % накладные расходы; 30 % районный коэффициент.
3. Используемая система налогообложения, ставки налогов, отчислений, дисконтирования и кредитования	Коэффициент отчислений во внебюджетные фонды – 30,2 %.

Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:

1. Оценка коммерческого потенциала, перспективности и альтернатив проведения проектной работы с позиции ресурсоэффективности и ресурсосбережения	Анализ и оценка конкурентоспособности НИ; SWOT-анализ.
2. Планирование и формирование бюджета проектной работы	Формирование плана и графика разработки: - расчет номинального фонда времени на проектирование. Формирование бюджета затрат на научное исследование: - расчет затрат по научно-техническому проектированию; - расчет затрат на монтажные и пусконаладочные работы; - выбор состава и численности бригады для проведения ПНР; - определение плана проведения пусконаладочных работ; - выбор формы и системы оплаты труда; - определение стоимости пусконаладочных работ; - расчет заработной платы бригады; - правовые документы, действующие при проведении ПНР; - ценообразование.
3. Определение ресурсной (ресурсосберегающей), финансовой, бюджетной, социальной и экономической эффективности исследования	- Определение ресурсной (ресурсосберегающей) и экономической эффективности исследования - Определение научно-технической эффективности

Перечень графического материала (с точным указанием обязательных чертежей):

1. Оценка технического уровня новшества
2. Смета затрат
3. Линейный график

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Доцент ОСГН ШБИП	Киселева Елена Станиславовна	к.э.н		20.03.2020

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Чернышов Денис Александрович		20.03.2020

5 Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение

В предыдущих разделах дипломного проекта разработан электропривод насоса буровой установки. Данная установка предназначена для эксплуатационного и глубокого разведочного бурения нефтяных и газовых скважин глубиной до 2900м забойными двигателями и роторным способом.

Несмотря на значительные достижения в области бурового оборудования, существуют трудности в этой области, связанные со следующими факторами:

- Парк буровых установок укомплектован на половину морально устаревшим оборудованием;
- Существует тенденция удорожания бурового оборудования;
- Отечественной промышленностью не выпускаются серийно необходимые буровые установки, что нередко приводит к нецелесообразности использования установок более тяжелых классов и в результате повышается стоимость бурения;
- Большинство буровых установок выпускается в неполной комплектации, что в значительной мере приводит к снижению эффективности использования оборудования;
- Низкая монтажеспособность и транспортабельность установок снижает эффективность ее использования.

Вышеприведенные факты доказывают необходимость, как проектирования новых буровых установок, так и усовершенствования уже используемых.

Успех существования, финансовая стабильность и бизнес рост предприятия требует от последнего реконструкции и модернизации устаревшего технологического оборудования. Совершенствование технологии производства с целью повышения качества продукции (ее потребительских свойств), экономии затраченных средств, что существенно влияет на конечную стоимость продукции, появление новых видов продукции с новыми качествами - все это

требует от товаропроизводителя совершенствовать и внедрять новое технологическое оборудование, что целесообразно делать воспользовавшись услугами специализированных фирм, предоставляющих полный спектр по проектированию и наладке технологического оборудования.

Экономическое обоснование дипломного проекта разделено на две части:

1) Экономические расчеты по научно-техническому проектированию. Проектированием занимался один человек- автор проекта, с консультациями у специалистов по техническим, экономическим вопросам и вопросам, связанных с безопасностью жизнедеятельности. Целью этого раздела являлся расчет затрат, связанных с процессом проектирования, решение вопросов, связанных с ценообразованием проекта и расчета полученной прибыли.

Проект состоит из трех основных частей:

- основная часть (решаются технические вопросы);
- экономическая часть (экономическое обоснование, как самого проекта, так и работ, связанных с монтажом и наладкой проектируемого электропривода;
- безопасность и жизнедеятельность (решаются вопросы, связанные с безопасностью работ на всех стадиях: начиная от проектирования и кончая наладкой);

2) Экономический расчет монтажных и наладочных работ по данному электроприводу. Считаем, что этими работами занимается фирма, специализирующаяся в этой области и имеющая свой штат сотрудников. Целью этого раздела являлся расчет затрат, связанных с соответствующими работами, с определением цен на данные виды работ, определения размера получаемой прибыли с учетом:

- затрат предприятия, реально возможных на данный момент, в процессе его сборки, монтажа и наладки;
- налогов со ставками, утвержденными на настоящий момент;
- отчисления во внебюджетные фонды: 30,2% (от заработной платы);

- продажная цена на проектирование, сборку, монтаж и наладку электропривода с учетом налога на добавочную стоимость (НДС): 20 %.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- расчет номинального фонда времени на проектирование.
- расчет затрат по научно-техническому проектированию;
- расчет затрат на монтажные и пусконаладочные работы;
- выбор состава и численности бригады для проведения ПНР;
- определение плана проведения пусконаладочных работ;
- выбор формы и системы оплаты труда;
- определение стоимости пусконаладочных работ;
- расчет заработной платы бригады;
- правовые документы, действующие при проведении ПНР;
- ценообразование.

5.1 Расчет номинального фонда времени на проектирование

Так как специфика таких работ, как проектирование электропривода не поддается строгому техническому нормированию, т.к. все определяется как уровнем сложности проектируемого электропривода, так и требуемым объемом работ. Поэтому, более удобно экономический расчет проекта проводить в зависимости от объема, затраченного на проект времени. Следовательно, важным моментом является определение номинального фонда времени работы над проектом. Расчет производим на одного человека за срок, отведенный на проект: апрель (30 дней) и май (31 день).

Номинальный фонд рабочего времени:

$$T_H = T_K - T_{ПР} - T_{ВЫХ} = 61 - 3 - 8 = 50 \text{ дня,}$$

где: $T_K=61$ день - календарное время;

$T_{ПР}=3$ дня - праздничные дни (майские праздники);

$T_{ВЫХ}=8$ дней - выходные дни: считаем 6 рабочих дней в неделю.

Зарезервируем: не выход по болезни: $t_{БОЛЕЗНИ} = 3$ дня.

Тогда, целодневные невыходы на работу, соотнесенные к номинальному

фонду рабочего времени: $t_{нд} = \frac{t_{\text{болезни}}}{T_n} = \frac{3}{50} = 0,06$ дня.

Явочное время: $T_{яв} = T_n \cdot T_p \cdot (1 - t_{нд}) = 50 \cdot 8 \cdot (1 - 0,06) = 376$ ч.,

где $T_{яв} = 8$ ч.- расчет производим на восьми часовой рабочий день.

Для расчетов необходим расчет фонд явочного времени в год. Расчет производим за год в 365 дней.

Номинальный фонд рабочего времени в год;

$$T_{нз.} = T_{кз.} - T_{прз.} - T_{выхз.} = 365 - 9 - 52 = 304 \text{ дня,}$$

где: T_k -365 дней - календарное время в год;

$T_{пр} = 9$ дней - праздничные дни;

$T_{выхз.} = 52$ дня - выходные дни: считаем 6 рабочих дней в неделю.

Зарезервируем:

- отпуск: $t_{отп} = 24$ дня;

- не выход по болезни: $t_{\text{болезни}} = 12$ дней.

Тогда, целодневные невыходы на работу, соотнесенные к номинальному фонду рабочего времени:

$$t_{нд} = \frac{t_{\text{отпуск}} + t_{\text{болезни}}}{T_{нз.}} = \frac{24 + 12}{304} = 0,143 \text{ дня.}$$

Явочное время в год:

$$T_{явз.} = T_{нз.} \cdot T_{см} \cdot (1 - t_{нд}) = 304 \cdot 8 \cdot (1 - 0,143) = 2084,2 \text{ ч.,}$$

где $T_{см} = 8$ ч. - восьми часовой рабочий день.

5.2 Расчет затрат по научно-техническому проектированию

Произведем расчет амортизационных отчислений основных фондов.

К основным фондам относятся средства труда, которые многократно используются в процессе производства, не изменяя свою натурально-вещественную форму. К ним относятся средства труда стоимостью более 10000 р. и сроком службы более одного года: здания, сооружения, передаточные устройства,

машины и оборудование, транспортные средства, производственный и хозяйственный инвентарь и т.д.

Все основные фонды учитываются в натуральных и денежных показателях, это проводится со следующими целями:

- для определения степени морального и физического износа;
- для бухгалтерского учета.

Учет в денежных единицах необходим для начисления ежегодных сумм амортизации и определения финансовых показателей (себестоимости и прибыли). Основные фонды переносят свою стоимость на вновь изготовленную продукцию в виде амортизационных отчислений.

Амортизация - это возмещение стоимости основных фондов в течении их эксплуатации. Отчисления производятся за счет себестоимости в амортизационный фонд. Предприятие, по мере необходимости, снимает эти средства на приобретение новых основных фондов - реновация. Амортизация может начисляться одним из нескольких способов:

- 1) линейным способом - равномерно на всем сроке эксплуатации основных фондов;
- 2) производственным способом - в зависимости от выработки предприятия за определенный период;
- 3) по остаточной стоимости.

Выберем линейный способ амортизации. Проектированием занимаемся в лабораторном кабинете восьмого корпуса Томского политехнического университета, с использованием компьютера, принтера и лабораторного стенда.

Заработная плата может быть рассчитана по одной из двух основных форм:

- Сдельная форма оплаты труда: применяется там, где возможно нормировать труд, имеются технические обоснованные нормы, есть учет количества продукции;
- Повременная форма оплаты труда: Оплата труда за единицу отработан-

ного времени: час, смена. Применяется там, где невозможно учесть количество изготовленной продукции.

Используем повременную форму оплаты труда, т.к. проектирование электропривода очень сложно пронормировать, в виду разного уровня сложности проектов и требований, предъявляемых к ним. Для начисления заработной платы устанавливаем часовые тарифные ставки из расчета среднего размера зарплаты для соответствующей квалификации проектировщиков, работающих в организациях, которые профилируются в области проектирования электромеханических систем промышленного назначения в г. Томске:

Так как проектированием занимается инженер, то его часовая тарифная ставка приравнена к 2-й категории: $ЧТС_{\text{пр}}=200 \text{ р./ч.}$

Для расчета времени, которое затратил проектировщик в процессе создания проекта, составляем таблицу 1.

Таблица 1 - Временные затраты на проект

№	Содержание работы	Продолжительность, ч.	События
1	2	3	4
1	Ознакомление с заявкой на проектирование	10	Составление технического задания
2	Выбор типа электропривода	12	Выбран тип электропривода
3	Анализ современных СУЭП*	10	Выбор СУЭП
4	Ознакомления с объектом управления	18	Уточнение технического задания
5	Разработка структурной схемы	10	Структурная схема электропривода
6	Разработка функциональной схемы	15	Функциональная схема электропривода
7	Составление мат. описания электропривода	30	Математическое описание электропривода
8	Синтез СУЭП	40	Расчет параметров элементов СУЭП

9	Создание имитационной модели	40	Имитационная модель на ЭВМ
10	Моделирование и обработка результатов	20	Показатели качества электропривода
11	Исследование элементных баз отечественных и зарубежных фирм	15	Выбор комплектующих для реализации СУЭП
12	Корректировка функциональной схемы и ее показателей	30	Улучшение показателей качества электропривода
13	Разработка принципиальной схемы	40	Принципиальная схема
14	Разработка монтажной схемы	30	Монтажная схема
15	Экономические расчеты электропривода	20	Экономическое обоснование проекта
16	Резерв времени	4	—
	Итого	344	—
* - СУЭП - система управления электропривода.			

Примечание к таблице 1: В таблице не учитываются затраты времени на консультации и защиту проекта,

$$T_{\Sigma \text{проект.}} = T_{\text{яв.}} = T_{\Sigma \text{конс.}} + T_{\text{проект.}} = 32 + 344 = 376 \text{ ч.}$$

где $T_{\Sigma \text{конс.}} = 32 \text{ ч.}$ - определяется по таблице 2;

$T_{\text{ПРОЕКТ}}$ определяется по таблице 4

Расчет зарплаты проектировщика за данный проект:

$$З_{\text{Пр}} = ЧТ_{\text{Спр}} \times T_{\text{яв}} = 200 \times 376 = 75200 \text{ р.}$$

Расчет суммарных затрат на зарплату с учетом районного коэффициента: Районный коэффициент для томской области: $K_p = 1,3$

$$З_{\text{Пр.}} = K_p \times З_{\text{Пр.}} = 1,3 \times 75200 = 97760 \text{ р.}$$

Расчет затрат на зарплату с: отчисления во внебюджетные фонды равен 30,2%, где налог на страхование: $H_{\text{СТРАХ}} = 0,2\%$.

$$ЗП_{\Sigma}^H = H_{соц.} \cdot H_{страх.} \cdot ЗП_{пр}^P = 1.302 \cdot 1.002 \cdot 97760 = 127538$$

Полученные затраты на проектирование электропривода сведем в таблицу 2.

Таблица 2 - Калькуляция проектных работ

Наименование затрат	Обозначения	Время, час	Стоимость, руб/час	Сумма
Отчисления на амортизацию	$A_{пр.}$	376	7,33	2756,2
Расходные материалы	$З_{р.м.}$	376	2,26	850
Консультации – район. коэф.+соц.налог+н. на страх	$ЗП_{к./э.}^H$	37,5	95,73 73,36	3590 2751
Коммунальные услуги	$З_{ком,уд.}$	376	7,09	2666,7
Зарплата – район. коэф.+соц.налог+н. на страх	$ЗП_{\Sigma}^H$	376	25 19,15	127538
Суммарные затраты	$З_{проект.}$		229,92	29217,46

5.3 Расчет затрат на монтажные и пусконаладочные работы

Пусконаладочные работы при монтаже электроприводов и их установке являются завершающей стадией процесса строительно-монтажных работ. Высокий уровень механизации и автоматизации производства, повышенные требования к электроприводу и к продукции увеличивают объем наладочных работ и выделяют их в самостоятельный вид деятельности. От качества проведения пусконаладочных работ зависит бесперебойность работы, безопасность и экономичность обслуживания электрооборудования буровой установки.

В данной части производится расчет затрат, связанных со сборкой электропривода, монтажом и наладкой по проекту, представленному в данной работе. Все эти работы проводит фирма, специализирующаяся по данному профилю. Структура этой фирмы представлена на рисунке 36.

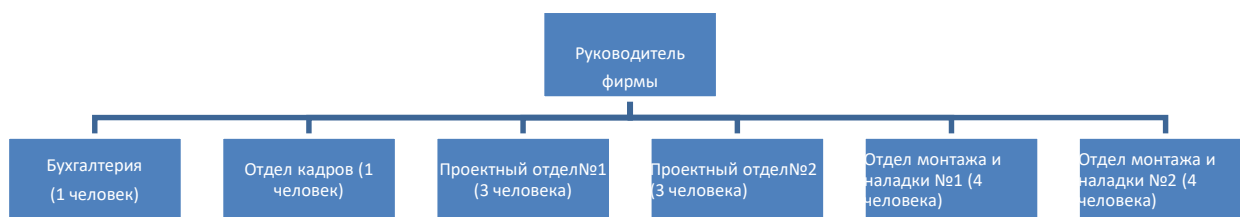


Рисунок 1 - Структура фирмы

Обеспечение высокой надежности и высококачественной работы установки зависят от качества проведения пуско-наладочных работ (ПНР). Важными показателями ПНР является продолжительность работы, для ее сокращения работы проводятся по самому оптимальному графику. Работу выполняют высококвалифицированные специалисты с большим стажем и практическими знаниями.

Сборка и проверка электропривода производится в лаборатории фирмы, а монтаж на буровую установку и наладка электропривода осуществляется на месте заказчика. Состав ПНР определяется стоимостью устройства электропривода, сложностью его исполнения схем, настройки и других особенностей. Не рассматривая полный комплекс ПНР и его последовательность можно выделить, пять основных этапов проведения ПНР:

1. подготовительные работы;
2. сборка электропривода;
3. наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний оборудования;
4. наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования;
5. пробный пуск электропривода;
6. оформление отчетной документации.

5.4 Выбор состава и численности бригады для проведения ПНР

Бригада наладчиков является специализированной бригадой и характеризуется профессиональным составом, работы проводятся в первую смену. На выполнение всех ПНР отведено 100 часов; в том случае, если бригада не укладывается в отведенные на ПНР часы, то работы проводятся во внеурочное время с оплатой труда такой же, как и в рабочее время. Проведение этих работ объясняется утвержденными сроками начала бурения скважины. Техника безопасности запрещает производить работы на оборудовании находящемся под напряжением менее двум рабочим. Состав и численность бригады определяется исходя из квалификации работников, а также сроков выполнения ПНР.

В данном случае бригада состоит из четырех человек:

1. руководитель - инженер первой категории;
2. электронщик шестого разряда;
3. электромонтер шестого разряда;
4. электромонтер пятого разряда.

5.5 Определение плана проведения пусконаладочных работ

Обеспечение высокой надежности и высококачественной работы буровой установки зависят от качества проведения ПНР. Важными показателями ПНР является продолжительность работы, для ее сокращения работы проводятся по самому оптимальному графику.

Полный комплекс пусконаладочных работ и последовательность их исполнения представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Этапы выполнения ПНР

№	Наименование работ	Исполнители	Часы
1	- организация и подготовка работ	1,2,3,4	8
2	- изучение электрической части проекта и ознакомление с технической документацией	1,2,4	4
3	- подготовка парка приборов и приспособлений, программ наладки и комплекта форм протокола	1,2,3,4	8

4	- наладочные работы, проводимые до индивидуальных испытаний оборудования	1,2,3,4	40
5	- наладочные работы в период индивидуальных испытаний технологического оборудования	1,2,3,4	24
6	- пробный пуск электропривода	1,2,3,4	8
7	- составление протокола ПНР и испытаний	1,2,3,4	4
8	- внесение в принципиальные схемы изменений, выполненных в процессе ПНР	1,3	4

По таблице 3 строим график выполнения ПНР, который приведен на рисунке 2.

5.6 Выбор формы и системы оплаты труда

Принцип распределения от количества и качества труда предполагает увязку системы заработной платы не только с качеством труда, но и с его количеством, т.е. с производительностью труда. Мерой количества труда на производстве является отработанное рабочими время или выработанная ими продукция. Установленные для отдельных категорий работников формы и системы оплаты труда должны материально заинтересовать в повышении количественных и качественных показателей работы.

На предприятиях применяются две основные формы оплаты труда - сдельная и повременная. Для бригады наладчиков наиболее эффективной является аккордная система оплаты труда. Эта система представляет собой разновидность сдельной системы, при которой сдельная расценка (сумма аккордного наряда) устанавливается на значительный объем работ без установления норм и расценок на отдельные элементы. При этом определяется срок окончания всей работы. Расчет с рабочими по аккордной оплате труда производится после выполнения всей оговоренной работы. Если выполнение аккордного задания требует значительного времени, то по аккордным нарядам выплачивается аванс на текущий месяц с учетом выполненного объема работы, а окончательный расчет производится после сдачи всего объема работ (аккорда).

Аккордная система является бригадной и заработок распределяется между

всеми членами бригады. Аккордная система может сочетаться с выплатой премий за улучшение качества работы и за сокращение сроков ее выполнения. Если договором предусматривается промежуточная оплата, то в этом случае руководствуются структурой пусконаладочных работ (таблица 10).

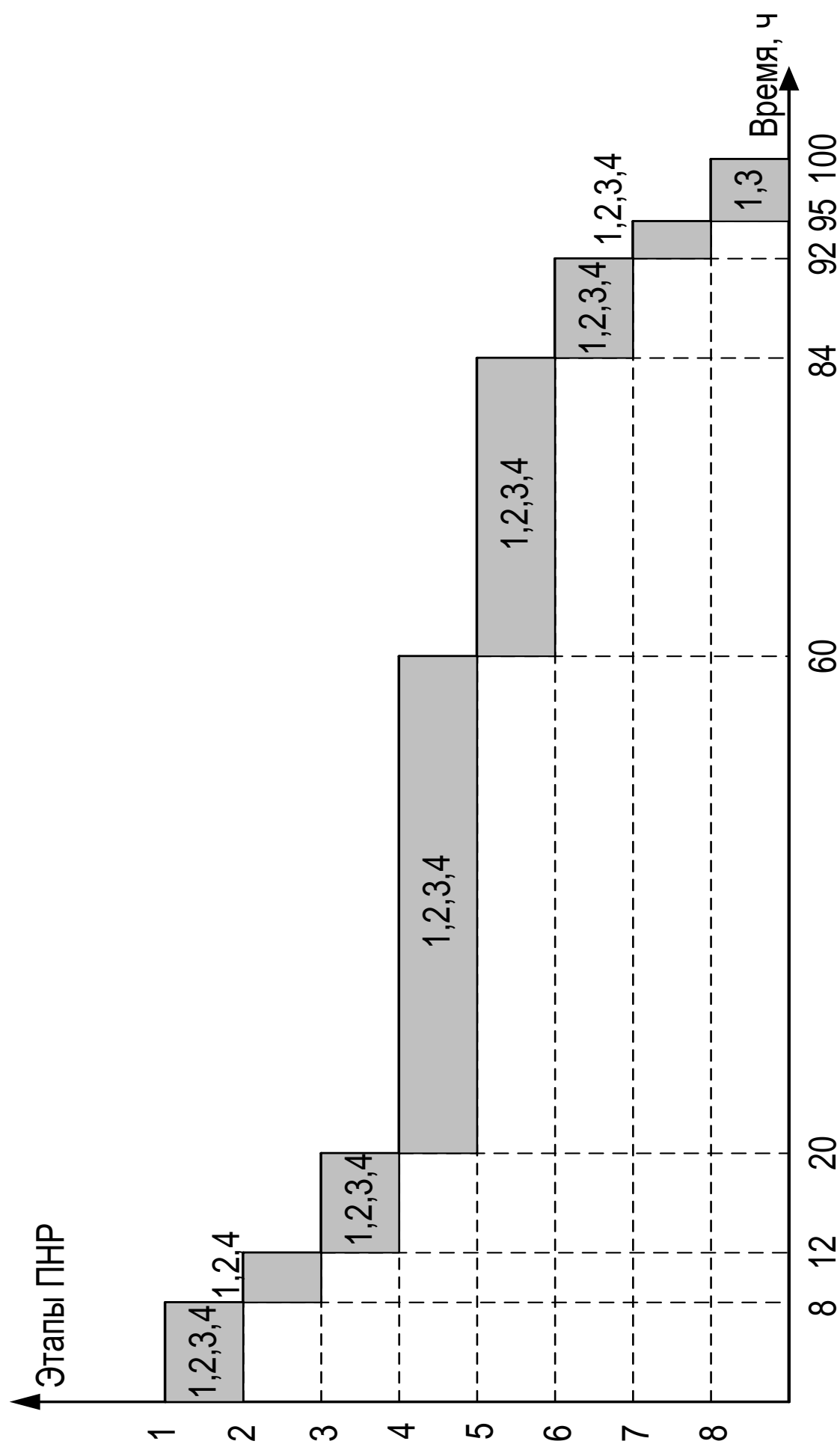


Рисунок 2 – График проведения ПНР

5.7 Определение стоимости пусконаладочных работ

Стоимость пусконаладочных работ по электроприводу буровой установки исчисляется суммированием затрат по следующему оборудованию и видам работ:

- преобразовательным трансформаторам и реакторам;
- коммутационным аппаратам;
- устройствам релейной защиты;
- электрическим машинам;
- статическим преобразователям;
- схемам управления электроприводом, а также систем автоматического управления и регулирования ими.

Цены на пусконаладочные работы содержат только основную заработную плату пусконаладочного персонала, рассчитанную на основе тарифных ставок и среднемесячных должностных окладов, установленных для работников. Базисную стоимость пусконаладочных работ определяем на основании ценника на проведение ПНР. Важнейший принцип определения заработной платы при бригадном методе работы - оценка реального трудового вклада каждого члена бригады в получение конечного результата.

При проведении пусконаладочных работ в условиях, снижающих производительность труда к цене, следует применять следующие коэффициенты:

- наличие в зоне работ действующего оборудования, коэффициент 1,1;
- выполнение ПНР в электротехнических установках, находящихся под напряжением, коэффициент 1,3;
- надбавка к ценам ПНР, районный коэффициент 1,3;
- реальная стоимость ПНР определяется с учетом индексации цен

Базисные расценки на наладку электрооборудования при проведении пусконаладочных работ приведены в таблице 4.

Таблица 4 - Расценки на наладку электрооборудования при ПНР

Наименование работ	Ед. изм.	Кол, шт.	Цена, руб.	Сумма, руб.
Блок питания	шт.	2	4300	8600
Преобразователь тиристорный	шт.	2	75000	150000
Датчики	шт.	6	1100	6600
Контур системы автоматического регулирования тока	контур	2	1500	3000
Контур системы автоматического регулирования скорости	контур	2	1500	3000
Схема сигнализации	схема	2	900	1800
Снятие на осциллограф	—	50	100	5000
Работы, не учтенные ценником				4500
ИТОГО, сумма				182500

В соответствии с ценником на проведение ПНР и таблицей 11 стоимость пусконаладочных работ электропривода буровой установки определяется следующим образом:

♦стоимость с учетом районного коэффициента

$$C_{\text{сум1}}=1,3 \cdot C_{\text{сум}}=1,3 \cdot 182500=237250 \text{ руб}$$

♦стоимость с учетом наличия в зоне выполнения ПНР действующего технологического оборудования

$$C_{\text{сум2}}=1,1 \cdot C_{\text{сум1}}=1,1 \cdot 237250=260975 \text{ руб}$$

♦стоимость с учетом наличия в зоне выполнения ПНР в электротехнических устройствах, находящихся под напряжением

$$C_{\text{сум3}}=1,35 \cdot C_{\text{сум2}}=1,35 \cdot 260975=352316 \text{ руб}$$

♦базисная стоимость ПНР с учетом коэффициента индексации цен

$$C_{\text{ПНР}}=5 \cdot C_{\text{сум3}}=5 \cdot C_{\text{сум3}}=5 \cdot 352316=1761580 \text{ руб}$$

В сметную стоимость ПНР входят:

1. заработная плата пусконаладочной бригады;
2. дополнительная заработная плата, составляющая $10 \div 15$ процентов от основной заработной платы;

3. затраты на комплектующие материалы составляет от основной 5 процентов;

4. отчисления на социальные нужды (пенсионный фонд, фонд медицинского страхования, фонд социального страхования, фонд занятости, фонд содействия развития науки и т.д.) составляют 35,6 процентов;

5. накладные расходы составляют 40 процентов;

6. рентабельность составляет $10 \div 15$ процентов от всех отчислений;

7. общая стоимость пусконаладочных работ;

8. общая стоимость пусконаладочных работ с учетом НДС составляет 20 процентов от общей стоимости ПНР.

Рассчитанная сметная стоимость пусконаладочных работ приведена в таблице 5.

Таблица 5 - Стоимость ПНР

Статья	Сумма, руб.	Примечание
1 . Заработная плата	1761580	Спнр
2. Дополнительная заработная плата	17615	10% от ст. 1
3. Материалы	88079	5% от ст. 1
4. Отчисления во внебюджетные фонды	528474	30,2% от ст. 1
5. Накладные расходы	704632	40% от ст. 1
6. Стоимость ПНР	44108,14	\sum ст.(1÷6)
7. Стоимость ПНР с учетом НДС	52929,77	НДС = 20%

5.8 Расчет заработной платы бригады

В фирме, занимающаяся ПНР электропривода буровой установки введена сеточная повременная оплата труда. С учетом отработанных часов сумма, выделенная на оплату труда бригады, составит 20978,82 руб.; распределение ведется по часовой ставке:

Таким образом, в процессе ПНР рассчитываем заработную плату каждого члена бригады с учетом районного коэффициента и соц. налога, расчет

сведен в таблицу 6.

Таблица 6 - Заработная плата работников

Состав бригады	Часовая ставка	Отработанные часы	Заработная плата, руб.
Инженер 1-ой категории	140	100	18738,72
Электронщик 6-го разряда	124	100	16597,15
Электромонтер 6-го разряда	124	96	16597,15
Электромонтер 5-го разряда	124	50	7376,51
ИТОГО:			59309.53

5.9 Правовые документы, действующие при проведении ПНР

Пуско-наладочные работы по электроприводу буровой установки, как указывалось выше, выполняет группа специалистов производственной фирмы на основе "договора-подряда". В договоре на проведение пусконаладочных работ оговариваются следующие пункты:

1. Предмет договора. Исполнитель принимает на себя обязательства проведения ПНР. Содержание и сроки указываются в других пунктах. Указывается срок сдачи объекта.

2. Стоимость работ. За выполнение ПНР заказчик перечисляет сумму в размере, оговоренном сторонами при заключении договора.

3. Порядок сдачи-приемки работ. В этом месте оговариваются порядок сдачи и приемки работ с оформлением соответствующего акта, а также случаи пересмотра сроков и оплат.

4. Ответственность сторон. За невыполнение обязательств по договору исполнитель и заказчик несут правовую и имущественную ответственность в соответствии с действующим законодательством.

5. Прочие условия.

6. Срок действия договора и юридические адреса сторон.

Таблица 7 - Переменные затраты на закупку комплектующих к ЭП

Наименование комплектующих	Стоимость, тыс. р.
Двигатель постоянного тока, 560 кВт	385800
Трансформатор силовой	250000
Тахогенератор	10000
Вторичный источник питания	20000
Блок защиты и сигнализации (комплект)	8000
Тиристорный преобразователь (комплект)	150000
Автоматический выключатель	12000
Система защиты и сигнализации (комплект)	11000
Сельсинный командоаппарат	10000
Итого:	1014800

Суммарные переменные затраты по 1) и 2):

$$Z_{пер.} = 44108,14 + 1014800 = 1058908,14 \text{ р.}$$

Суммарные затраты на сборку, монтаж и наладку электропривода:

$$Z_{м/н} = Z_{пост.} + Z_{пер.} = 6127 + 1058908,14 = 1065035,14 \text{ р}$$

Затраты на проектирование, сборку, монтаж и наладку электропривода:

$$Z_{эп} = Z_{проект.} + Z_{м/н} = 29217,46 + 1065035,14 = 1094952,6$$

где $Z_{проект.}$ - определены в таблице 7.

Полученные затраты на ПНР сведем в таблицу 8.

Таблица 8 - Калькуляция ПНР

Наименование затрат	Время, час	Стоимость, руб/час	Сумма
Отчисления на амортизацию	100	50	5000
Расходные материалы	100	55	5500
Административный аппарат	100	33	3300

Коммунальные услуги	100	25	2500
Стоимость ПНР			44108,14
Комплекующие			371300
Суммарные затраты			431708,14

5.10 Ценообразование

По ценам на разработку, создание, монтаж и наладку электромеханических изделий наша фирма должна конкурентоспособной, как с иностранными фирмами, так и отечественными фирмами. Цены в среднем по Томску на закупку, установку и наладку электроприводов (подобного уровня сложности) находятся в пределах: 400÷600 тыс.р. Главная цель фирмы - это создание рабочих мест и обеспечение персонала заработной платой по размеру не менее средней по городу. Устанавливаем цену на электропривод со всеми надлежащими работами, связанными с проектированием, сборкой, монтажом и наладкой - 500 тыс. р.

Из общей цены распределяем прибыль:

- 1) на проектирование $Проект. = 18000р.$;
- 2) на монтаж и наладку $Пм/н = 31248р.$

Необходимо отметить, что в таблице 9 учтена рентабельность ПНР - 4010 р. Суммарная прибыль фирмы, занимающаяся монтажом и пусконаладочными работами составит - $Ппнр_{\Sigma} = 31248 + 4010 = 35258$ р.

Тогда, цена на проектирование электропривода составит

$$Ц_{проект.} = З_{проект.} + Проект. = 29217,46 + 18000 = 47217,46 \text{ р.};$$

Цена на закупку сборку, монтаж и наладку электропривода составит:

$$Ц_{м/н} = З_{м/н.} + Ппнр_{\Sigma} = 421535,14 + 35258 = 456793,14 \text{ р.}$$

Цена электропривода с учетом проекта, его стоимостью и всеми надлежащими работами:

$$Ц_{\Sigma} = Ц_{проект.} + Ц_{м/н} = 47217,46 + 456793,14 = 504010,6 \text{ р.}$$

Все экономические расчеты были проведены без налога на добавочную стоимость (НДС). Произведем расчет продажных цен с учетом НДС=20 %:

На проект:

$$Ц_{\text{проект.прод.}} = Ц_{\text{проект.}} + Ц_{\text{проект.}} \cdot \text{НДС} = 47217,46 + 47217,46 \cdot 0,2 = 56660,952 \text{ р.}$$

На закупку сборку, монтаж и наладку электропривода:

$$Ц_{\text{м/н прод.}} = Ц_{\text{м/н}} + Ц_{\text{м/н}} \cdot \text{НДС} = 456793,14 + 456793,14 \cdot 0,2 = 548151,768 \text{ р.}$$

Продажная цена электропривода с учетом проекта, его стоимостью и всеми надлежащими работами:

$$Ц_{\text{эл. прод.}} = Ц_{\text{проект. прод.}} + Ц_{\text{м/н прод.}} = 56660,952 + 548151,768 = 604812,72 \text{ р.}$$

Выводы по главе «Финансовый менеджмент, ресурсоэффективность и ресурсосбережение:

В данной главе представлено экономическое обоснование дипломного проекта. Экономические расчеты по научно-техническому проектированию. Проектированием занимался один человек - автор проекта, с консультациями у специалистов по техническим, экономическим вопросам и вопросам, связанных с безопасностью жизнедеятельности. Целью экономического обоснования являлся расчет затрат, связанных с процессом проектирования, решение вопросов, связанных с ценообразованием проекта и расчета полученной прибыли.

Проведен экономический расчет монтажных и наладочных работ по регулируемому приводу бурового насоса. Проведен расчет затрат, связанных с соответствующими работами, с определением цен на данные виды работ, определен размер получаемой прибыли. В расчете учитывались:

- Затраты предприятия, реально возможные на данный момент, в процессе его сборки, монтажа и наладки;
- В процессе расчетов использовались налоги со ставками, утвержденными на настоящий момент;
- Отчисления во внебюджетные фонды: 30,2 % (от заработной платы);
- Продажная цена на проектирование, сборку, монтаж и наладку электропривод рассчитывалась с учетом налога на добавочную стоимость (НДС):

20 %.

Номинальный фонд времени на проектирование составил 2084,2 часа.

Затраты по научно-техническому проектированию составили 29217,46 рублей. Состав и численность бригады определена исходя из квалификации работников, а также сроков выполнения ПНР. В данном случае бригада состоит из четырех человек. Для бригады наладчиков наиболее эффективной является аккордная система оплаты труда.

Определена стоимость пусконаладочных работ, которая составила 52929,77 рублей. Заработная плата бригады составила 59309.53 рублей.

Продажная цена электропривода с учетом проекта, его стоимостью и всеми надлежащими работами составляет 604812,72 рублей.

ЗАДАНИЕ ДЛЯ РАЗДЕЛА «СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ»

Студенту:

Группа	ФИО
3-5Г5Б1	Чернышов Денис Александрович

Школа	Инженерная школа энергетики	Отделение	Электроэнергетика и электротехника
Уровень образования	Бакалавриат	Направление/специальность	Электроэнергетика и электротехника

Тема ВКР:

Регулируемый привод бурового насоса	
Исходные данные к разделу «Социальная ответственность»:	
1. Характеристика объекта исследования (вещество, материал, прибор, алгоритм, методика, рабочая зона) и области его применения	Буровая установка БУ-2900/200 ЭПК БМ предназначена для бурения нефтяных и газовых скважин глубиной 2900 метров с грузоподъемностью на крюке до 200 тонн. Регулируемый электропривод насоса буровой установки, применяется для обеспечения в скважине циркуляции бурового раствора
Перечень вопросов, подлежащих исследованию, проектированию и разработке:	
1. Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности: — специальные (характерные при эксплуатации объекта исследования, проектируемой рабочей зоны) правовые нормы трудового законодательства; организационные мероприятия при компоновке рабочей зоны.	Разработка организационных мероприятий для безопасной работы электротехнического персонала.
2. Производственная безопасность 2.1. Анализ выявленных вредных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения 2.2. Анализ выявленных опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения	Анализ опасных факторов 1. Движущие части машин и механизмов. 2. Поражения электрическим током Анализ вредных факторов 1. Недостаточная освещенность рабочей зоны 2. Повышенный уровень шума 3. Повышенный уровень вибрации 4. Отклонение параметров микроклимата
3. Экологическая безопасность:	Анализ воздействия на литосферу 1) Разливы трансформаторного масла при авариях с маслонаполненным оборудованием, на подстанциях предусматриваются маслоприемники; 2) Образование отходов, связанных с заменой комплектующих разрабатываемого оборудования, образование золоотвалов
4. Безопасность в чрезвычайных ситуациях:	Наиболее типичная ЧС для рассматриваемой буровой установки – пожар. - оснащение (первичные средства пожаротушения пожарная сигнализация, система автоматического пожаротушения);

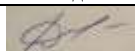
	-инструкции по пожарной безопасности для работников; -план эвакуации работников при пожаре
--	---

Дата выдачи задания для раздела по линейному графику	
---	--

Задание выдал консультант:

Должность	ФИО	Ученая степень, звание	Подпись	Дата
Ассистент	Немцова О.А.			

Задание принял к исполнению студент:

Группа	ФИО	Подпись	Дата
3-5Г5Б1	Чернышов Денис Александрович		30.03.2020

6 СОЦИАЛЬНАЯ ОТВЕТСТВЕННОСТЬ

Введение

Исследуемый в проекте электропривод насоса буровой установки БУ 2900/200 ЭК-БМ, на базе нереверсивного тиристорного преобразователя, предназначен для управления вращением роторного стола в процессе бурения и эксплуатации скважин. В буровой установке используются электроустановки как низкого напряжения (до 1000 В) так и высокого (выше 1000 В).

Работы по обслуживанию и ремонту электропривода, проводимые оперативно-ремонтным и ремонтным персоналом, ведутся на технологическом оборудовании и вблизи него. Работы по обслуживанию и ремонту устройства управления, имеющего щитовое исполнение и находящегося в помещении операторной, ведутся при искусственном освещении.

Для оперативного проведения ремонта вышедшего из строя оборудования, в условиях непрерывного производства, обслуживающему персоналу необходимо иметь четкие знания и соблюдать правила безопасности согласно.

6.1 Правовые и организационные вопросы обеспечения безопасности

К работе электромонтера по ремонту и обслуживанию электропривода насоса буровой установки допускаются лица не моложе 18 лет, имеющих специальное образование, прошедших медицинское освидетельствование, прошедшие проверку знаний ПЭЭП и ПТБ электроустановок потребителей в цеховой комиссии, утвержденной распоряжением главного электрика комбината.

При эксплуатации электроустановок потребителей, электротехнический персонал электрослужбы должен систематически повышать свою квалификацию и уровень знаний правил, и инструкций по охране труда, изучать передовой опыт и безопасные приемы обслуживания электроустановок.

Периодически один раз в квартал электромонтер из числа оперативного

персонала электрослужбы должен участвовать в противоаварийных тренировках с целью предупреждения и ликвидации неполадок и аварий.

Техника безопасности при ремонте и обслуживании электрооборудования насоса буровой установки предусматривает:

1. Назначение лиц, ответственных за безопасность работ. Такими лицами являются производители работ, начальники участков, мастера и бригадиры монтажных работ.
2. Включение, в проект производства работ, решений по созданию условий для безопасного и безвредного производства, по санитарно-гигиеническому обслуживанию работающих, по достаточному освещению рабочих мест.
3. Внедрение передового опыта работы по предупреждению производственного травматизма.

Важную роль в обеспечении безопасности труда для электротехнического персонала играют электротехнические средства защиты и предохранительные приспособления. Электротехнические средства подразделяются на основные и дополнительные. К основным средствам относятся:

- изолирующие клещи (для операции с предохранителями);
- электроизмерительные указатели напряжения;
- монтажный инструмент с изолирующими ручками;
- диэлектрические перчатки;
- изолирующие штанги (оперативные, измерительные, для наложения заземления).

К дополнительным средствам относятся:

- изолирующие средства для ремонтных работ под напряжением до и выше 1000 В (диэлектрические боты, коврики, и т. п.);
- индивидуальные экранирующие средства;
- переносные заземления;
- временные ограждения;

- предупредительные плакаты.

При выполнении работ необходимо соблюдать следующие правила:

- а) весь персонал должен иметь на руках удостоверение о ежегодной проверке знаний по технике безопасности;
- б) все работающие должны быть ознакомлены с правилами оказания первой медицинской помощи пострадавшему от электрического тока;
- в) запрещается во время работы электрических машин касаться токоведущих частей, открывать дверцы и люки кожухов и машин, а также снимать защитное ограждение;
- г) вращающиеся части машин должны быть ограждены;
- д) корпуса всех электроустановок должны быть надежно заземлены;
- е) в электрических схемах должна быть предусмотрена защита от перегруза и короткого замыкания;
- ж) доступ к работе должен производиться только после выполнения всех технических и организационных мероприятий, обеспечивающих безопасность при проведении работ.

Важной мерой, обеспечивающей электробезопасность обслуживающего персонала, является защитное заземление металлических, не токоведущих (конструктивных) частей электрооборудования привода, нормально не находящихся под напряжением относительно земли, в случае повреждения изоляции электродвигателя, аппаратов управления, сетей, и т.п. Правила устройства электроустановок предписывают, чтобы при напряжении 500 В и выше все металлические токоведущие части электрооборудования имеющими с ними электрический контакт корпуса и конструкции механического оборудования были заземлены [1-7].

Защитное действие выносного заземления обусловлено только малой величиной его сопротивления, согласно ПУЭ, при напряжении до 1000 В, сопротивление заземляющего устройства не должно превышать 4-х Ом.

6.2 Производственная безопасность

Буровые установки являются объектами повышенной взрыво -, пожаро- опасности: при проведении технологических процессов применяются горючие жидкости (дизельное топливо, нефть и др.). Во время проходки продуктивных горизонтов возможно наличие природного газа под полом буровой и в насосной. Опасные и вредные факторы приведены в таблице 15.

Таблица 15 - Опасные и вредные факторы

Источник фактора, наименование видов работ	Факторы (по ГОСТ 12.0.003-2015)[1]		Нормативные документы
	Вредные	Опасные	
Регулируемый привод бурового насоса. Эксплуатация и ремонт регулируемого привода бурового насоса.	1. Повышенный уровень шума. 2. Повышенный уровень вибрации; 3. Недостаточная освещенность рабочей зоны. 4. Отклонение параметров микроклимата	1. Движущиеся машины и механизмы; подвижные части производственного оборудования; 2. Поражение электрическим током.	1. ГОСТ 12.0.003-2015 ССБТ. 2. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. 3. ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. 4. СН 2.2.4/2.1.8.566-96. 5. ГОСТ 12.1.012-2004 ССБТ. 6. ГОСТ 12.2.003-91 ССБТ. 7. ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. 8. ГОСТ 12.4.011-89 ССБТ.

2.1 Анализ выявленных вредных и опасных факторов при разработке и эксплуатации проектируемого решения

Повышенный уровень шума.

При наличии производственного шума, превышающего допустимые санитарные нормы, и вибрации оборудования должны проводиться технические мероприятия по ограничению воздействия этих вредных факторов на рабочих.

В соответствии с [8] в таблице 16 приведены допустимые уровни шума для рабочего места.

Таблица 16 - Допустимые уровни шума на рабочем месте.

Рабочее место	Уровни звукового давления в дБ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гн								Уровень звука в эквиваленте
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Постоянные рабочие места и рабочие зоны в производственных помещениях и на территории предприятия	99	92	86	83	80	78	76	74	85

Существует несколько мероприятий для снижения шума до значений, не превышающих допустимые: технические средства борьбы с шумом (уменьшение шума машин в источнике, применение технологических процессов, при которых уровень звукового давления на рабочих местах не превышает допустимые, и др.); строительно-акустические; дистанционное управление шумными машинами; использование средств индивидуальной защиты; организационные (выбор рационального режима труда и отдыха, сокращение времени нахождения в шумных условиях, лечебно-профилактические и другие мероприятия).

В соответствии с [9] к коллективным средствам и методам защиты от шума при использовании приводной арматуры можно отнести:

- звукоизолирующие кожухи;
- рациональное размещение технологического оборудования, машин и механизмов;
- рациональное размещение рабочих мест;
- оснащение шумных машин средствами дистанционного управления и автоматического контроля;
- совершенствование технологии ремонта и обслуживания машин;
- использование рациональных режимов труда и отдыха работников на шумных предприятиях.

К средствам индивидуальной защиты относятся:

- противошумные наушники, закрывающие ушную раковину снаружи;
- противошумные вкладыши, перекрывающие наружный слуховой проход или прилегающие к нему;
- противошумные шлемы и каски;
- противошумные костюмы.

Повышенный уровень вибрации.

Источниками вибраций являются движение автотранспорта, работа задвижки и приводной арматуры (задвижки, дисковые затворы и т.п.).

Длительное воздействие вибрации на организм человека приводит к серьезным последствиям под названием «вибрационная болезнь». Это профессиональная патология, которая возникает в результате длительного влияния на организм человека производственной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень.

Для санитарного нормирования и контроля используются средние квадратические значения виброускорения или виброскорости, а также их логарифмические уровни в децибелах. Нормы одночисловых показателей вибрационной нагрузки на оператора для длительности смены 8 ч., для общей вибрации категории 3 тип «а», по санитарным нормам значение виброускорения составляет 100 дБ, а для виброскорости – 92 дБ [10].

К средствам защиты от повышенного уровня вибрации относятся устройства:

Оградительные, виброизолирующие, виброгасящие и вибропоглощающие, автоматического контроля и сигнализации, дистанционного управления. [10].

Индивидуальными средствами защиты от вибраций являются рукавицы с вкладышами из пенопласта, поролона, обувь с прокладками из виброизолирующих материалов. В качестве эффективных средств защиты целесообразно

применять войлочные стельки, валенки с галошами, резиновые коврики на рабочем месте бурильщика, индивидуальные основания под полом и др.

Недостаточная освещенность рабочей зоны:

Рабочие столы размещены таким образом, чтобы видеодисплейные терминалы были ориентированы боковой стороной к световым проемам, чтобы естественный свет падал преимущественно слева.

Искусственное освещение в помещении осуществляется системой общего равномерного освещения, в случаях работы с документами, следует применять системы комбинированного освещения (к общему освещению дополнительно устанавливаются светильники местного освещения, предназначенные для освещения зоны расположения документов) [11].

Освещенность на поверхности стола в зоне размещения рабочего документа должна быть 300 - 500 лк. Освещение не должно создавать бликов на поверхности экрана. Освещенность поверхности экрана, согласно СанПиН 2.2.2/2.4.1340-03 не должна быть более 300 лк .

В качестве источников света применяются светодиодные светильники или металлогалогенные лампы (используются в качестве местного освещения).

Отклонение параметров микроклимата

Для создания и автоматического поддержания управления регулируемого привода бурового насоса в помещениях независимо от наружных условий оптимальных значений температуры, влажности, чистоты и скорости движения воздуха, в холодное время года используется водяное отопление, в теплое время года применяется кондиционирование воздуха. Кондиционер представляет собой вентиляционную установку, которая с помощью приборов автоматического регулирования поддерживает в помещении заданные параметры воздушной среды [12].

Таблица 16 - Оптимальные величины показателей микроклимата на рабочих местах производственных помещений СанПиН 2.2.4.548-96

Период года	Категория работ по уровню энергозатрат	Температура воздуха, °С	Температура поверхностей, °С	Относ. влажность воздуха, %	Скорость движения воздуха, м/с
Холодный	Iб	21-23	20-24	40-60	0,1
Теплый	Iб	22-24	21-25	40-60	0,1

Таблица 17 - Допустимые величины интенсивности теплового облучения

Облучаемая поверхность тела, %	Интенсивность теплового облучения, Вт/м ² , не более
50 и более	35
25-50	70
не более 25	100

В помещении проводится ежедневная влажная уборка и систематическое проветривание после каждого часа работы.

Движущиеся машины и механизмы производственного оборудования; подвижные части производственного оборудования:

Подвижными частями регулируемого привода бурового насоса являются шток дискового затвора и вал электродвигателя.

Движущиеся части производственного оборудования, являющиеся возможным источником травмоопасности, должны быть ограждены или расположены так, чтобы исключалась возможность прикасания к ним работающего или использованы другие средства (например, двуручное управление), предотвращающие травмирование.

Если функциональное назначение движущихся частей, представляющих опасность, не допускает использование ограждений или других средств, исключающих возможность прикасания работающих к движущимся частям, то

конструкция производственного оборудования должна предусматривать сигнализацию, предупреждающую о пуске оборудования, а также использование сигнальных цветов и знаков безопасности.

Поражение электрическим током:

С точки зрения техники безопасности, естественно, что для разработки защитных мероприятий от электрических поражений необходим анализ основных причин и условия их возникновения. Чаще всего они происходят в результате образования электрической дуги или искр вызывающих ожоги.

Использование электропривода вызывает опасность поражения электрическим током, причем основным источником электротравматизма являются установки низкого напряжения (до 1000 В) [13-14].

Основными мерами защиты при эксплуатации электроустановок:

- привитие работающим навыков безопасной эксплуатации электрооборудования;
- использование токов низкого напряжения (12-36В);
- постоянных токов небольших величин;
- контроль и профилактика повреждений изоляции;
- обеспечение недоступности токоведущих частей;
- использование защитного заземления и зануления;
- использование защитного отключения;
- применение средств защиты и предохранительных приспособлений.

В электроустановках напряжением выше 1000 В дополнительными электрозащитными средствами являются диэлектрические перчатки, боты, галоши, коврики и изолирующие подставки, а в установках напряжением до 1000 В - те же средства за исключением диэлектрических перчаток.

6.3 Экологическая безопасность

На промышленных объектах и установках с выделением сероводорода и других газов должны предусматриваться мероприятия по предотвращению влияния газов на рабочий персонал, такие как установка системы вентиляции,

которая будет отводить вредные газы от рабочей зоны. В соответствии с [15] газокомпрессорных станциях, нефтенасосных, газораспределительных будках и других производственных помещениях содержание газов в воздухе не должно превышать указанному в таблице 17.

Таблица 17 – Допустимое содержание газов

Наименование вредного вещества	ПДК
метана, % объема	0,7
сернистого газа, мг/м ³	10
окиси углерода, мг/м ³	20
паров бензина (в пересчете на углерод), мг/м ³	300
сероводорода в смеси с углеводородами, мг/м ³	3
ртути, мг/м ³	0,01
метанола (спирта метилового), мг/м ³	5

Один из продуктов переработки нефти - трансформаторное масло - является опасным, токсичным, канцерогенным. Опасный сам по себе, он, в определенных условиях, становится источником одних из самых опасных современных токсичных биоаккумуляированных веществ длительного действия (полупериод распада - 10 лет) - диоксинов. По поражающей силе один из диоксинов мало уступает современным боевым отравляющим веществам, являясь часто их эквивалентом. Чрезвычайная опасность их состоит в том, что, накапливаясь в жировых тканях организма, они не выводятся из него, и подавляют репродуктивную функцию всего живого, тем самым, являясь генетическим оружием.

Сырая нефть и природный газ также являются экологически опасными веществами; попадая в воздух, воду, почву они наносят огромный ущерб всему живому. О прямом ущербе от разливов нефти и выбросов газа при авариях трубопроводов, танкеров и других объектов, участвующих в процессе транспорта и переработки нефти и газа, широко известно.

На рассматриваемой буровой используется обваловка каждого куста-скважины добычи нефти. При аварийной ситуации, при попадании в почву нефти используются установки для очистки почвы от нефтяных примесей. В каждом цехе подготовки переработки нефти (ЦППН) используется шламовое хозяйство.

Ширина санитарно-защитной зоны для жилых районов устанавливается согласно действующим санитарным нормам. В отдельных случаях по согласованию с органами Государственного санитарного надзора допускается уменьшение ширины санитарно-защитной зоны в зависимости от степени ослабления или полной ликвидации вредных факторов.

6.4 Безопасность в чрезвычайных ситуациях

Буровые установки относятся к категории А. Категория производства по степени опасности поражения молнией - II. Класс взрывопожароопасной зоны по ПУЭ - В-Iг (наружные установки, где возможно образование паро- и газозвдушных взрывоопасных смесей при неисправностях и авариях) [16].

Пожарная профилактика промышленных объектов, согласно заключается в следующем:

- предотвращении образования горючей среды, а также ограничении горючести обращающихся в производстве веществ, материалов, оборудования и конструкций;
- предотвращении образования в горючей среде (или внесения в нее) источников зажигания;
- поддержании температуры горючей среды ниже максимально допустимой до горючести;
- поддержании давления в горючей среде ниже максимально допустимого до горючести;
- уменьшении определяющего размера горючей среды ниже максимального по горючести.

Эти профилактические мероприятия обеспечиваются:

- строгим соблюдением нормативов пожарной безопасности, обучением персонала, пропагандой основ пожарной профилактики на предприятиях;
- применением широкого комплекса организационно-технических мероприятий;
- правильной планировки предприятий и цехов; применения огнестойких материалов для строительных конструкций и ограничения использования пожароопасных веществ;
- автоматизации и механизации пожароопасных производственных процессов;
- герметизации оборудования и технологических линий и др.

Поражающими факторами пожара, воздействующими на людей, являются открытый огонь и искры; повышенная температура воздуха, предметов и т. п.; токсичные продукты горения; дым; пониженная концентрация кислорода; обрушение и повреждение зданий, сооружений, установок; взрыв.

На буровых объектах, согласно необходимо иметь огнетушители химические пенные ОХП-10 (6 шт.) ломы, топоры и багры (по 2 шт.), лопаты и ведра (по 4 шт.), 4 ящика для песка объемом по 0,5 м³ каждый. В случае необходимости число перечисленных средств может быть увеличено.

На буровых с электроприводом наряду с перечисленными средствами следует иметь огнетушители углекислотные (ОУ-2, ОУ-5, ОУ-8), а при использовании промывочных жидкостей на углеводородной основе целесообразно создание в помещении насосной установки пенного пожаротушения (пеногенераторы для получения химической пены - ПГП или генераторы воздушной пены - ГВП).

Кроме того, в последнее время буровые оборудуются системами водяного тушения: технические водопроводы снабжают пожарными кранами, в помещении насосной и в бытовых помещениях хранят выкидные пожарные рукава и ручные пожарные стволы к ним.

В разделе «Социальная ответственность» были рассмотрены вредные факторы, влияющие на жизнь и здоровье людей, а также факторы, влияющие на экологию.

В ходе разработки данного раздела отражены все возможные вредные и опасные факторы, возникающие в процессе работы с оборудованием бурового насоса, а так же приведены организационно-правовые вопросы обеспечения безопасности, производственная безопасность и документация, регламентирующая действия рабочих, которые её обеспечивают, вопросы, связанные с экологической безопасностью и безопасностью в чрезвычайных ситуациях. Все рассмотренные вопросы подразумевают определенные правила для рабочих и возможности их внедрения непосредственно на производственном участке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе выполнения выпускной квалификационной работы рассчитаны параметры силовой цепи и цепи возбуждения, определены оптимальные параметры настройки электропривода, рассчитаны статические и динамические характеристики. С помощью прикладных программ исследованы режимы работы привода в первой и второй зоне регулирования скорости и проанализировано влияние параметров электропривода на динамику системы.

На основании приведённых исследований и расчетов показано, что данный электропривод бурового насоса удовлетворяет требованиям технического задания и может быть использован в качестве электропривода бурового насоса с двухзонным регулированием скорости.

В экономической части работы проведена оценка техникоэкономического обоснования выбора темы, приведён расчет затрат на проектирование и проведение пусконаладочных работ электропривода бурового насоса, а также этапы их проведения.

В работе также рассмотрены вопросы безопасности и экологичности, электробезопасности, промышленной санитарии и пожарной безопасности при монтаже, наладке и обслуживании электропривода на буровой установке.

THE CONCLUSION

During performance of final qualifying work the parameters of a power circuit and circuits of excitation are designed, the optimum parameters of adjustment of the electric drive are certain, are designed static and dynamic characteristics. With the help of the applied programs the modes of operations of a drive in first and in the second zone of regulation of speed are investigated and the influence of parameters of the electric drive on dynamics of system is analyzed.

On the basis of the given researches and accounts is shown, that the given electric drive of a chisel winch meets the requirements of the technical project and can be used as the electric drive of rise columns and pipes with two-zoned regulation of speed.

In an economic part of work the estimation of the feasibility report of a choice of a theme is carried out, the account of expenses on designing and realization of starting-up and adjustment works of the main electric drive of a winch of chisel installation, and also stages of their realization is given.

In work questions of safety and ecology, electro safety, industrial norm and fire safety are considered at installation, adjustment and service of the electric drive on chisel installation.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

- 1 Электропривод переменного тока. Учебное пособие. А.Ю.Чернышев, И.А.Чернышев: Издательство ТПУ, 2008-217с.
- 2 Удут Л.С., Мальцева О.П., Кояин Н.В. Системы управления электроприводов. Учебное пособие. Томск., 2007-151с.
- 3 Бычков В.П. Электропривод и автоматизация металлургического производства. Учебное пособие для вузов. Изд. 2-е перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1977, 391с.
- 4 Л.К.Бурулько., Ю.С.Боровиков. Специальные электроприводы переменного тока. Учебное пособие. Томск, 2007-145с.
- 5 НПБ 105-03 Определение категорий помещений, зданий и наружных установок по взрывопожарной и пожарной опасности.
- 6 Шицкова А.П., Новиков Ю.В., Климкина Н.В. Охрана окружающей среды от загрязнения предприятиями черной металлургии. М.: Металлургия, 1982-208с.
- 7 Правила устройства электроустановок. М.: Минэнергоиздат, - 640с.
- 8 ГОСТ 12.1.003-2014 ССБТ. «Шум. Общие требования безопасности».
- 9 ГОСТ 12.1.029-80 ССБТ. «Средства и методы защиты от шума. Квалификация».
- 10 СН 2.2.4/2.1.8.556 «Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий».
- 11 СНиП 23-05-95 „Естественное и искусственное освещение”.
- 12 СанПиН 2.2.4.584-96 «Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений».
- 13 ГОСТ 12.1.038-82 ССБТ. «Электробезопасность. Предельно допустимые уровни напряжений прикосновения и токов».
- 14 ГОСТ Р 12.1.019-2009 ССБТ. Электробезопасность. Общие требования и номенклатура видов защиты.
- 15 ГОСТ Р 55990-2014 Месторождения нефтяные и газонефтяные. Промысловые трубопроводы. Нормы проектирования.

16 ГОСТ 30852.9-2002 (МЭК 60079-10:1995) Электрооборудование взрывозащищенное.